

Jani Mikola

# **Automaattisen tunnistuksen teknologioiden hyödyntäminen prosessien tehostuksessa**

Opinnäytetyö

Kevät 2019

SeAMK Tekniikka

Konetekniikan tutkinto-ohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU  
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

## **Opinnäytetyön tiivistelmä**

Koulutusyksikkö: SeAMK Tekniikka

Tutkinto-ohjelma: Konetekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Auto- ja työkonetekniikka

Tekijä: Jani Mikola

Työn nimi: Automaattisen tunnistuksen hyödyntäminen prosessien tehostuksessa

Ohjaaja: Jarno Arkko

Vuosi: 2019

Sivumäärä: 56

---

Tässä työssä tutkitaan automaattisen tunnistuksen teknologioita sekä sitä, miten niitä voitaisiin hyödyntää yrityksessä erinäisten prosessien tehostamisessa. Sähköistyksellä ja automatisoinnilla halutaan tehostaa etenkin työvaihetta, jossa tuotannossa käytettävästä osasta otetaan ylös tietoja, kuten valmistuspäivämäärä sekä sarjanumero, ja lisätään ne myöhemmin eräisiin järjestelmiin ja tietokantoihin. Tätä prosessia halutaan tehostaa sähköisen tunnistamisen avulla ja pyrkimyksenä on tilanne, jossa osa voidaan lukea sähköisellä lukijalla, joka toimittaa osan tiedot suoraan järjestelmiin. Tämä vähentäisi työntekijän työhön käyttämää aikaa, ja se myös vähentää huomattavasti inhimillisten virheiden ja niiden aiheuttamien ongelmatilanteiden selvittelyyn, kuten väärinkirjoitettuun sarjanumeroon, käytettyä aikaa.

Työn tuloksena saatiin tutkittua eri teknologioita, kerättyä näistä käyttökokemuksia sekä suoritettua pilotointia. Lisäksi käynnistettiin yhteistyö paikallisen yrityksen kanssa, joka on erikoistunut muun muassa RFID-tekniikkaan ja siihen liittyvään ohjelmointiin. Opinnäytetyössä tehdyn työn tuloksena asiakasyritys on ottamassa käyttöön sekä QR-koodit että RFID-tekniikan päivittäisessä toiminnassa.

Avainsanat: viivakoodi, QR-koodi, RFID, etätunnistus

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## **Thesis abstract**

Faculty: School of Technology

Degree programme: Mechanical Engineering

Specialisation: Automotive and Work Machine Engineering

Author: Jani Mikola

Title of thesis: Utilization of Automatic Identification to Increase Process Efficiency

Supervisor(s): Jarno Arkko

Year: 2019 Number of pages: 56

---

The thesis studied the technology of automatic identification and how it could be utilized to increase the efficiency of certain processes. Enhancing a process by the means of electrification and automatization is especially aimed at a work phase, where such information as the manufacturing date and serial number of a part used in production is written down and later added to certain systems and databases. The desire was to make this process more efficient by utilizing electrical identification and the goal was to get to a situation, where a part can be scanned with an electrical reader that sends information of that part directly to the systems. This would not only decrease the amount of time a worker uses on this process but also the number of human errors and the amount of time needed to resolve these problematic situations caused by a human error, such as misperceiving the serial number of a part.

As the result of the thesis different methods of automatic identification were studied, tested and piloted. Also, collaboration with a local business specialising on RFID - technology and RFID related programming was established. As the result the client company will be implementing QR-codes and RFID-technology in their daily actions.

Keywords: barcode, QR -code, RFID, remote identification

## SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ .....	4
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluettelo .....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet .....	7
1 JOHDANTO .....	8
1.1 Työn tarkoitus ja tutkimusongelmat.....	8
1.2 Työn tavoite .....	9
1.3 Yritysesittely .....	10
2 TEKNOLOGIASELVITYS.....	11
2.1 Viivakoodit.....	11
2.1.1 Toimintaperiaate .....	12
2.1.2 QR-koodit.....	14
2.2 RFID.....	15
2.2.1 Historia.....	16
2.2.2 RFID –tunnisteet .....	20
2.2.3 RFID –lukijat .....	21
2.3 Teknologioiden vertailu .....	24
3 NYKYTILA-ANALYYSI .....	28
3.1 Tausta .....	28
3.2 Prosessikuvaukset .....	29
3.3 Käytettävät järjestelmät ja niiden integraatio .....	30
4 TOIMINNAN TEHOSTAMINEN.....	33
4.1 Prosessien tehostus.....	33
4.2 Integraation vaatimukset .....	35
4.3 Lukijalaitteen käyttöliittymän vaatimukset .....	35
5 TEKNOLOGIOIDEN TESTAUS .....	36
5.1 RFID.....	36
5.1.1 Tunnisteiden valinta .....	36

5.1.2 Tunnisteiden luku .....	40
5.2 Viivakoodit.....	43
5.3 Pilotti .....	45
5.3.1 Järjestely.....	46
5.3.2 Kulku.....	46
5.3.3 Tulokset .....	48
6 KÄYTTÖÖNOTON SUOSITUKSET .....	50
6.1 Design.....	50
6.2 Käytännön toiminta ja prosessit .....	51
7 JOHTOPÄÄTÖKSET .....	53
LÄHTEET .....	55

## Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. QR -koodi (Denso Waves, [Viitattu 27.3.2019]).	15
Kuva 2. RFID-systeemin infrastruktuuri (SFS-käsikirja 301-1 2010, 25).	15
Kuva 3. Alien Technologies ALR-F800-X neliporttinen kiinteä RFID -lukija (Alien Technologies [Viitattu 22.3.2019]).	22
Kuva 4. Nordic ID HH53 RFID mobiililukija (Nordic ID [Viitattu 22.3.2019]).	23
Kuva 5. Nordic ID EXA31 RFID/viivakoodi Bluetooth lukijamoduuli (Nordic ID [Viitattu 22.3.2019]).	23
Kuva 6. Hitachi USPT (Hitachi Chemical, [Viitattu 23.3.2019]).	37
Kuva 7. TROI Technologies CC-71 UHF RFID tunniste (AbleID, [Viitattu 23.3.2019]).	38
Kuva 8. Autosport-liitin kutistettavalla muotokappaleella suojattuna.	39
Kuva 9. Metallipinnoilla toimiva label sekä kaksi kovaa tagia.	40
Kuva 10. QR-koodi kiinnitettynä suljettavaan muovitaskuun.	44
Kuva 11. QR-koodi kulma leikattuna, edelleen toimivana.	45
Kuvio 1. Viivakoodin rakenne (Muller 2003, 94).	13
Kuvio 2. Osan elinkaaren prosessikuvaus.	34
Taulukko 1. Vertailu QR -koodien ja RFID -tunnisteiden välillä.	27

## Käytetyt termit ja lyhenteet

<b>RFID</b>	Radio frequency identification, radioaaltoja hyödyntävä etätunnistus
<b>UHF</b>	Ultra High Frequency, RFID -teknologiassa käytettävä taajuusalue
<b>HF</b>	High Frequency, RFID -teknologiassa käytettävä taajuusalue
<b>LF</b>	Low Frequency, RFID -teknologiassa käytettävä taajuusalue
<b>QR</b>	Quick Response, 2D-viivakoodityyppi
<b>WRC</b>	World Rally Championship, rallin maailmanmestaruussarja
<b>ERP</b>	Enterprise Resource Planning, toiminnanohjausjärjestelmä
<b>CMOS</b>	Complementary Metal Oxide Semiconductor, mikropiiritekniikka, joka pohjautuu kanavatransistoreihin
<b>EPC</b>	Electronic Product Code, sähköinen tuotekoodi
<b>UPC</b>	Universal Product Code, viivakoodityyppi

# 1 JOHDANTO

Nykypäivänä yrityksissä halutaan jatkuvasti kehittää toimintaa ja prosesseja sekä tehdä asioita paremmin. Vaikka lopputulema työssä, jota tehdään, säilyisikin samana, siitä, miten siihen pisteeseen päästään, halutaan tehdä mahdollisimman tehokasta. Näin resursseja saadaan ohjattua muuhun käyttöön tai voidaan säästää kustannuksia sekä vähentää työntekijöiden työkuormaa.

Tämä oli tavoitteena myös tässä opinnäytetyössä. Tarkoituksena oli tutkia erilaisia automaattisen tunnistuksen menetelmiä ja selvittää, voisiko näitä käyttää hyväksi yrityksessä ja näin ollen tehostaa yrityksen toimintaa.

## 1.1 Työn tarkoitus ja tutkimusongelmat

Osalle ralliauton osista suoritetaan eliniän seurantaa, eli sille kertyviä erikoiskoekilometrejä seurataan. Näille osille on myös asetettu maksimirajat kilometrien suhteen. Kun tämä kilometriraja ylitetään, osaa ei tule enää käyttää kisatoiminnassa. Näin varmistutaan osien keston luotettavuudesta ja pienennetään teknisestä viasta johtuvan keskeytyksen tai suorituskyvyn laskemisen todennäköisyyttä. Tätä eliniän seurannan järjestelmää kutsutaan yrityksen sisällä termillä *lifing*.

Kaikki *lifingin* piirissä olevat osat ovat yksilöity sarjanumeroilla. Auton kokoamisen yhteydessä tarkastetaan nämä sarjanumerot, kirjoitetaan ne ylös ja lisätään tiettyihin järjestelmiin. Tämä manuaalinen sarjanumeroiden tarkistus on työlästä ja aikaa vievää, minkä lisäksi järjestelmä on haavoittuvainen inhimillisille virheille. Jos järjestelmiin päätyy virheellinen sarjanumero, järjestelmä kerryttää kilometrejä silloin eri osalle, kuin mikä autossa on todellisuudessa kiinni. Tämä luo epäluotettavuutta kilometritietoihin, ja näiden virheiden selvittely ja korjaaminen on myös äärimmäisen hankalaa sekä sitoo resursseja.

Tässä työssä on tarkoituksena tutkia automaattisen tunnistuksen teknologioita, viivakodeja sekä RFID -tekniikkaa ja selvittää, voitaisiinko näitä käyttää apuna sarjanumeroiden tarkistuksen prosessin automatisoimiseksi. Potentiaalisen teknologian



löytyessä sille tullaan suorittamaan testausta sekä pilotti, jossa arvioidaan sen soveltuvuutta laajempaa käyttöönottoa varten. Automaattisen tunnistuksen teknologioita tarkastellaan myös varastotoiminnan näkökulmasta ja arvioidaan, voitaisiinko niitä käyttää hyväksi myös varastonhallinnassa.

Opinnäytetyössä on siis tutkimusongelmina eräät työvaiheet ja prosessit, ja työssä tutkitaan eri automaattisen tunnistuksen teknologioita ja sitä, kuinka niillä voitaisiin tehostaa näitä prosesseja. Näihin ongelmiin ja kysymyksiin pyritään saamaan vastauksia laadullisia tutkimusmenetelmiä käyttäen. Työssä pyritään ymmärtämään paremmin automaattisen tunnistuksen teknologioita, miten ne toimivat ja miten niitä voitaisiin hyödyntää tutkimusongelmien ratkomisessa. Tutkimusaineisto koostuu erinäisistä verkko- sekä kirjallisuuslähteistä, RFIDLab Finland ry:n järjestämästä koulutuksesta ja koulutusmateriaalista sekä alan toimijoiden kanssa tehdystä yhteistyöstä. Lisäksi aineistoa ja kokemuksellista tukea johtopäätöksille pyritään saamaan omakohtaisilla käytännön testauksilla.

## **1.2 Työn tavoite**

Työn tavoitteena on selvittää, voiko yritys käyttää toiminnassa hyväkseen joitakin automaattisen tunnistuksen teknologioita. Mikäli jokin teknologia todetaan työn aikana yritykselle soveltuvaksi, siitä pyritään hankkimaan käyttökokemuksia ja koostamaan ohjeistus sekä suosituksia teknologian käyttöönottoa varten.

Opinnäytetyön onnistumiselle voidaan määrittää myös eräitä mittareita helpottaen opinnäytetyön suorituksen ja lopputulosten arviointia. Näitä ovat teknologiaselvitys, testaus ja pilotointi sekä tutkittujen teknologioiden hyödyntäminen ja käyttöönotto yrityksessä. Teknologiaselvityksen onnistunutta suorittamista ja sen pohjalta tehtyjä johtopäätöksiä voidaan pitää minimitasona onnistuneelle opinnäytetyölle. Selvityksen pohjalta suoritettujen testauksien ja mahdollisen pilotin taas voidaan pitää tuoneen selkeätä lisäarvoa niin opinnäytetyön kuin projektin kannalta yleisestikin. Jos tehdyn työn pohjalta asiakasyrityksessä otetaan käyttöön jokin tutkituista teknologioista, opinnäytetyön katsotaan onnistuneen erinomaisesti ja tuoneen selkeätä hyötyä yritykselle.

### 1.3 Yritysesittely

Tämän opinnäytetyön tilaajana toimi Tommi Mäkinen Racing Oy, myöhemmin tässä työssä TMR. Kyseinen yritys on perustettu vuonna 2004, ja se keskittyi aiemmin pääosin rakentamaan ja huoltamaan Subaru-merkkisiä ralliautoja. Vuodesta 2016 TMR on edustanut Toyota Motor Corporationia WRC-sarjassa Toyota Gazoo Racing -jaoston alla. Yritys suunnittelee, valmistaa ja kehittää ralliautot itse, minkä lisäksi yritys vastaa myös kilpailutoiminnasta.

Syksystä 2018 lähtien ralliautojen kisojen väliset huollot on suoritettu yhtiön toisessa toimipisteessä Tallinnassa. Suunnittelu ja testaus- ja kehitystoiminta ovat kuitenkin säilyneet Puuppolassa, joka edelleen toimii yhtiön päätoimipisteenä. Yritys työllistää kaiken kaikkiaan noin 150 työntekijää kahdessa toimipisteessä sekä ralleissa ja testeissä kiertävänä henkilöstönä.

## 2 TEKNOLOGIASELVITYS

### 2.1 Viivakoodit

Ensimmäiset askeleet kohti nykypäivän viivakoodijärjestelmiä otettiin vuonna 1948, kun opiskelija nimeltä Bernard Silver kuuli koulunsa erään dekaanin sekä erään ruokaketjun johtajan välisen keskustelun. Ruokaketjun johtaja vetosi dekaanin ja pyysi koulua käynnistämään tutkimuksen siitä, miten tuotetiedot voitaisiin tunnistaa automaattisesti kaupan kassalla. Dekaanin hylkäsi pyynnön, mutta Silver mainitsi keskustelun ystävälleen Joseph Woodlandille, jota ongelma kiehtoi. (Seideman, [Viitattu 22.3.2019].)

Ensimmäinen idea oli käyttää eri mustekuvioita, jotka hohtaisivat ultraviolettivalon alla, ja he rakensivat tähän perustuen ensimmäisen laitteen testatakseen konseptia. Vaikkakin he törmäsivät ongelmiin, Woodland oli vakuuttunut, että idea oli toimiva. Useiden kuukausien työn jälkeen hän kehitti lineaarisen viivakoodin venyttämällä morseaakkosia alaspäin, jolloin niistä muodostui ohuita sekä leveitä viivoja. Datan lukuun hän aikoi käyttää 1920-luvulla kehitettyä äänijärjestelmää, jota käytettiin elokuvien ääniraidoissa. Tässä järjestelmässä filmin reunan oli tulostettu kuvioita vaihtelevalla läpikuultavuudella, ja näiden kuvioiden läpi heijastettiin valo filmin pyöriessä. Toisella puolella oleva sensori muutti valon kirkkauden vaihtelun sähköaloiksi, joka taas muutettiin ääneksi kaiuttimien avulla. Woodland aikoi soveltaa tätä järjestelmää heijastamalla valon viivakoodistaan ja käyttämällä samantapaista anturia tulkitsemaan tuloksia. Woodland ja Silver tekivät 20.10.1949 tekniikalle patenttihakemuksen, ja sille myönnettiin patentti myöhemmin lokakuussa 1952. (Seideman, [Viitattu 22.3.2019].)

Vuonna 1951 Woodland ja Silver rakensivat ensimmäisen viivakoodinlukijan. Järjestelmään kuului 500-wattinen hehkulamppu, joka toimi valonlähteenä, sekä valokenno, joka oli yhdistettynä oskilloskooppiin. Viivakoodeilla merkitty paperi vietiin valon ohitse, ja heijastuma kohdistettiin valokennolle. Järjestelmässä oli ongelmia, kuten hehkulampun kirkkaus ja sen tuottama kuumuus, joka sai jopa paperin savuamaan. Valo tulisi siis saada jotenkin keskitettyä pienelle alalle. Lisäksi ympäristö

oli täytynyt pimentää, jottei ulkopuolinen valo sekoittanut lukua. Konsepti kuitenkin toimi, sillä oskilloskoopin signaali muuttui viivakoodi luettaessa. Ei ollut kuitenkaan selvää, miten tämä elektroninen signaali voitaisiin muuttaa hyödylliseen muotoon. Sen aikaiset tietokoneetkin kun olivat vielä varsin kehittymättömiä sekä suurikokoisia. (Seideman, [Viitattu 22.3.2019].)

Woodlandin ja Silverin kehittämä konsepti oli aikanaan aikaansa edellä, ja näin ollen varsinaista edistystä ei tapahtunut pitkään aikaan. 1960-luvun lopulla laserit alkoivat tulla edullisiksi, ja niiden soveltaminen viivakoodeihin vei alaa eteenpäin. Laserin kulkiessa viivakoodin yli mustat viivat imivät valon, kun taas valkoiset viivat heijastuivat takaisin antaen selkeän päällä/pois-signaalin. 1970-luvun alussa RCA, joka osti aikanaan Woodlandin patentin – joka vanheni 1969 – Philcolta, jolle Woodland sen myi, puski eteenpäin bull's eyeksi kutsuttua ympyränmallista viivakoodia. IBM pelkäsi jäävänsä ulkopuolelle potentiaalisista markkinoista ja alkoi kehittää UPC:ksi kutsuttua nykyään yleisintä viivakoodia Woodlandin johdolla, joka oli yrityksessä jo valmiiksi töissä. (Seideman, [Viitattu 22.3.2019].)

Bull's eye:llä oli ongelmia, jotka liittyivät enimmäkseen tulostukseen: tulostusvirheet ja musteen leviäminen vaikuttivat olennaisesti koodin luettavuuteen. UPC:ssä ylimääräinen muste taas vain valuisi alas vaikuttamatta koodin toimivuuteen. Ennen UPC:tä muutamia viivakoodisysteemejä oli tullut käyttöön joihinkin kauppoihin, kirjastoihin ja tehtaille, ja jokaisella oli omat metodinsa koodaukseen liittyen. UPC:n tullessa perustettiin UCC standardisoimaan UPC:n käyttöä. 26. kesäkuuta 1974 myytiin ensimmäinen vähittäismyyntituote käyttämällä viivakoodia ja lukijaa. (Seideman, [Viitattu 22.3.2019].)

### **2.1.1 Toimintaperiaate**

Viivakoodaus on automaattisen tunnistuksen optinen metodi, jonka avulla voidaan saada tärkeää dataa nopeasti ja tarkasti. Järjestelmä perustuu valon heijastumiseen tulostetulta kuviolta. Kuvion tummat alueet imevät valon, kun taas vaaleat kuviot ja alueet heijastavat valoa. Lukijalaite havaitsee tämän heijastuneen valon kuvion ja purkaa sen sisältämän tiedon. (Muller 2003, 90.)

Kokonaista kuviota kutsutaan symboliksi, ja jokainen viiva tai väli on yksi sen elementti. Useimmiten viivakoodit koostuvat lineaarisista symboleista, jotka voidaan lukea oikealta vasemmalle tai vasemmalta oikealle. Symbolit taas koostuvat muutamasta eri osiosta. Molemmilla puolilla symbolia on hiljainen alue, joka antaa lukijalle pisteen, josta mittaus aloitetaan. Ensimmäiset merkit ovat aloitus- ja lopetusmerkkejä, jotka kertovat lukijalle, mistä itse viesti alkaa ja mihin se loppuu. Datamerkit sisältävät itse viestin, joka viivakoodiin sisältyy. Kuviossa 1. on esitelty viivakoodi sekä sen rakenne. (Muller 2003, 93-94.)



Kuvio 1. Viivakoodin rakenne (Muller 2003, 94).

Viivakoodeilla on useita eri standardeja. Nämä standardit määrittelevät viivakoodin rakenteen sekä symbologian. Symbologioita on erilaisia: jotkut sisältävät vain numeroita, jotkut joko pieniä tai isoja kirjaimia tai molempia ja jotkut symbologiat sisältävät näitä kaikkia. Myös erilaisia erikoismerkkejä voi olla käytettävissä. Yleisimpiä käytettyjä standardeja ovat UPC ja EAN sekä Code 39 ja Code 128. (Muller 2003, 95.)

UPC ja EAN ovat yleisimmin jälleenmyyntituotteissa käytettyjä viivakoodistandardeja ja ovat näin ollen tarkasti hallinnoituja. UPC:sta on viisi eri versiota, ja EAN:sta kaksi. UPC:tä käytetään pääosin Yhdysvalloissa, ja sitä hallinnoi GS1-US, joka tunnettiin aiemmin nimellä Uniform Code Council. EAN on taas levinnyt maailmanlaajuisesti, ja sitä hallinnoi aiemmin EAN Internatiolina tunnettu GS1. (Bar Code 1, [Viitattu 22.3.2019].)

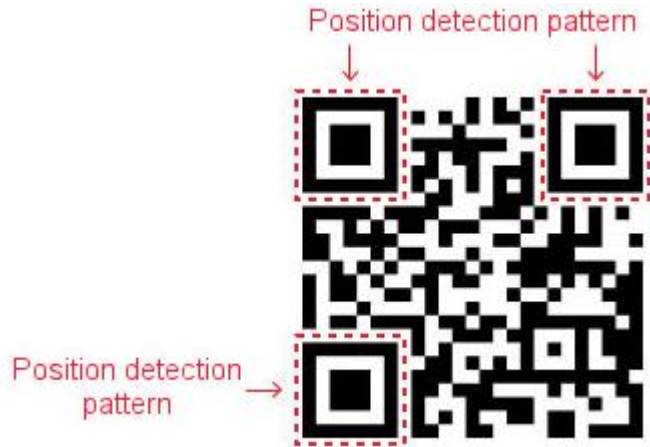
### 2.1.2 QR-koodit

QR-koodi on viivakoodityyppi, joka muodostuu mustien ja valkoisten neliskulmien kuviosta. Kuvioon on koodattu tieto, joka voidaan lukea lukijalla. Mustat ja valkoiset neliskulmat voivat merkitä numeroita nollasta yhdeksään, kirjaimia A:sta Z:taan, mutta myös muita kuin latinalaisia merkkejä, kuten japanilaisia kanji- ja kana-merkkejä. Esimerkki QR-koodista on esitetty kuvassa 1. (Gregersen, [Viitattu 27.3.2019].)

QR-koodit kehitti 1990-luvun alussa Toyotan tytäryhtiö Denso Waves, kun heitä pyydettiin kehittämään nopeammin luettavissa oleva viivakoodi. Lisäksi perinteinen viivakoodi pystyi sisältämään vain noin 20 aakkosellista merkkiä, jonka vuoksi esimerkiksi tuotannossa ja tehtaissa jouduttiin skannaamaan suuria määriä viivakoodeja päivittäin, vähentäen tehokkuutta. Lisäksi haluttiin mahdollistaa japanilaisten kanji- ja kana-merkkien käyttö viivakoodeissa. (Denso Wave, [Viitattu 27.3.2019].)

Perinteisessä 1D-viivakoodissa tieto voidaan koodata vain poikittaisessa suunnassa, kun taas 2D-viivakoodissa tietoa voidaan koodata niin poikittais- kuin pituussuunnassakin. Lukijoiden on kuitenkin monesti vaikeampaa hahmottaa 2D-viivakoodin sijainti ja orientaatio kuin 1D-viivakoodien. Tästä syystä QR-koodiin lisättiin kolmeen nurkkaan kohdistusneliöt. Näiden avulla lukija pystyy nopeasti havaitsemaan koodin ja lukemaan sen mistä tahansa kulmasta tai asennosta. (Denso Wave, [Viitattu 27.3.2019].)

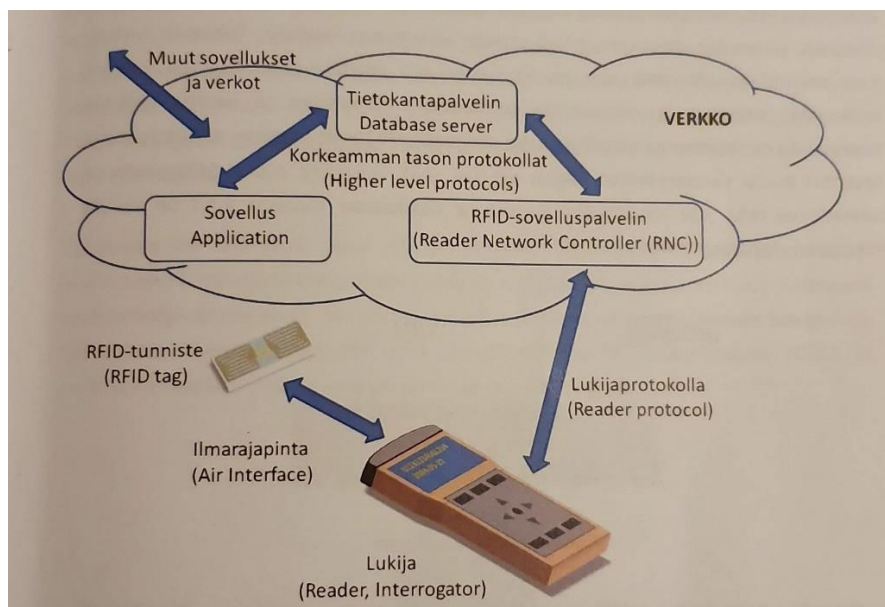
QR-koodiin voidaan koodata suuria määriä tietoja, sillä se voi sisältää noin 7 000 merkkiä ja se voidaan lukea yli kymmenen kertaa nopeammin kuin perinteiset viivakoodit. QR-koodit sisältävät myös virheidenkorjauksen, jonka ansiosta koodi voidaan lukea, vaikka se olisikin osittain turmeltunut. (Denso Wave, [Viitattu 27.3.2019].)



Kuva 1. QR -koodi (Denso Waves, [Viitattu 27.3.2019]).

## 2.2 RFID

RFID eli radiotaajuustunnistus on tekniikka, jossa elektroniselle tunnisteelle on tallennettu tietoa sellaisessa muodossa, jonka lukijalaite kykenee lukemaan ja välittämään tarvittaessa eteenpäin erilaisiin tietojärjestelmiin. RFID –järjestelmä koostuu näin ollen tunnisteesta, lukijasta ja lukijaan yhteydessä olevasta verkosta sekä tietojärjestelmistä. Toisinaan RFID-järjestelmä voi kuitenkin koostua vain lukijasta ja tunnisteesta. Lukija ja tunnistetunniste kommunikoivat keskenään ilmaprotokollan avulla, joita on yleisiä standardoituja sekä valmistajien omia. Kuvassa 2. on esitelty RFID-systeemin kokonaisuus. (SFS-käsikirja 301-1, 9, 25.)



Kuva 2. RFID-systeemin infrastruktuuri (SFS-käsikirja 301-1 2010, 25).

RFID-tekniikkaa käytetään usein samoissa kohteissa kuin viivakoodeja. RFID eroaa kuitenkin viivakoodeista siten, että se ei tarvitse suoraa näköyhteyttä kohteeseen. RFID-tunnisteen sisältöä voi myös muokata useita kertoja, minkä lisäksi tunnisteet sietävät paremmin vaikeita olosuhteita ja likaa kuin viivakoodit. (RFIDLab Finland ry, [Viitattu 16.3.2019].)

### 2.2.1 Historia

Radiotaajuustekniikan historia voidaan jäljittää vuoteen 1864, kun James Clerk Maxwell ennusti Maxwellin yhtälöiden perusteella sähkömagneettisten aaltojen, joihin myös mikroaallot kuuluvat, olemassaolon. Vuoteen 1888 mennessä Heinrich Hertz oli todistanut sähkömagneettisten aaltojen olemassaolon rakentamalla laitteen, joka tuotti sekä havaitsi mikroaalloja UHF-taajuusalueella. Samalla taajuusalueella, josta tuli pääasiallinen taajuusalue passiiviselle RFID-tekniikalle yli sata vuotta myöhemmin. (Miles, Sarma & Williams 2008, 4.)

Ennen kuin tutkat keksittiin, tutkijat tekivät suuria määriä töitä ymmärtääkseen radioaaltoja. Vaikka kunniaa tutkan keksimisestä ei voi antaa yhdelle yksittäiselle tutkijalle, ison osan tästä työstä teki Heinrich Hertz. Yksi hänen työnsä tuloksista oli havainto siitä, että tietyt radioaallot läpäisevät kiinteitä aineita, kun taas toiset radioaallot heijastuvat kiinteästä aineesta takaisin. Tämän havainnon pohjalta hän kehitti menetelmän takaisin heijastuneiden radioaaltojen nopeuden määrittämiseen. Näin ollen hän kykeni mittaamaan energialähteen ja energian heijastaneen objektin välisen etäisyyden. (Shepard 2005, 42.)

Hertz esitteli karkean kehitysversion tästä teknologiasta Saksan laivastolle esitellen sen tuomaa strategista lisäarvoa toisten alusten havaitsemisen muodossa, oli kyseessä sitten puolustus- tai pelastustoimet. Laivasto ei kuitenkaan osoittanut juuri kiinnostusta asiaa kohtaan, ja Hertz luopui pyrkimyksistä yhteistyöhön. (Shepard 2005, 42-43.)

Yksi keskeinen tekijä tutkateknologian eteenpäin viemiseksi oli Titanicin uppoaminen vuonna 1912. Tutkijat näkivät suunnattoman arvon järjestelmässä, jonka avulla alukset voisivat havaita kaukaisuudessa paljaalle silmälle näkymättömiä objekteja.



1920-luvun alussa Amerikan Yhdysvaltojen Laivaston tutkimuslaboratorio seurasi tiiviisti Hertzin tutkimusta, sillä myös he näkivät teknologiassa potentiaalia niin armeija- kuin siviilimarkkinoillekin, vaikka toimivaa lopputuotetta ei ollutkaan vielä olemassa. Tämä tutkimuslaboratorio oli Hertzin kokeista huomannut, että lähetetyistä radioaalloista palautui häiriintynyt säteilykuvio, kun merialus tai lentokone kulki niiden lävitse. He eivät kuitenkaan nähneet tälle toteuttamiskelpoista käyttötarkoitusta eivätkä ryhtyneet rahoittamaan lisätutkimuksia. (Shepard 2005, 43.)

Toinen maailmansota antoi tutkateknologialle lopullisen sysäyksen sen kehittämiselle ja käyttöönotolle. Kun vihamielisyydet maiden välillä lisääntyivät, lisääntyi myös tahto sekä tarve havaita lähestyvät vihollisten joukot, etenkin pimeissä sekä huonon näkyvyyden olosuhteissa. Hyvin nopeasti tutkateknologiaa alettiin kehittää Yhdysvalloissa, Yhdistyneissä kuningaskunnissa, Saksassa, Ranskassa, Neuvostoliitossa sekä Japanissa. Kun sota alkoi vuonna 1939, suurin osa näistä maista oli kehittänyt toimivan tutkajärjestelmän. Heidän samanaikaiset, vaikkakin itsenäiset, toimet loivat tutkan sellaisena, kuin se tänä päivänä on. (Shepard 2005, 44.)

Ongelmana edelleen oli, että ei voitu tietää, onko tutkan havaitsema kohde vihollinen vai tehtävältä palaava oma kone. Saksalaiset kuitenkin huomasivat, että tutkan lähettämä takaisin heijastunut signaali muuttuu, jos lentäjä pyöräyttää koneensa palatessaan takaisin tukikohtaan. Tämä metodi kertoi tutkan käyttäjille, että kyseessä oli oma kone, ja sitä voidaan pitää käytännössä ensimmäisenä passiivisena RFID-systeeminä. (Roberti 2005, 1.)

Britannialaiset kehittivät Robert Watson-Wattin johdolla – joka oli aiemmin kehittämissä myös tutkaa, ja jotkut pitävät häntä sen keksijänä – ensimmäisen aktiivisen Identify Friend or Foe -systeemin, lyhenteeltään IFF. He laittoivat jokaiseen britannialaiseen koneeseen lähettimen, ja kun tämä vastaanotti signaalin maalta tutka-asemasta, se alkoi lähettää takaisin signaalia, jonka perusteella kone tunnistettiin omaksi. Myös RFID toimii tällä samalla periaatteella. Vastaanottimelle lähetetään signaali, joka herää ja joko heijastaa signaalin takaisin tai alkaa lähettää signaalia. Signaalin heijastumiseen perustuvaa systeemiä, jossa tunnistaja saa energiansa vastaanotetuista radioaalloista, kutsutaan passiiviseksi RFID-systeemiksi. Signaalia lähettävää systeemiä kutsutaan aktiiviseksi tai semipassiiviseksi RFID-systeemiksi.

Näissä tunniste saa energiansa ulkoisesta lähteestä, kuten paristosta tai akusta. (Roberti 2005, 1.)

Tutka- ja radioaaltoelektronikan kehitys jatkui 1950- ja 1960-luvuilla ja tutkijat esittivät, että radiosignaalien energian avulla objekteja voitaisiin tunnistaa etänä. Yritykset ottivat käyttöön varkaudenestojärjestelmiä, jotka käyttivät radioaaltoja määrittääkseen, oliko tuote maksettu vai ei. Tuotteessa oli yksibittinen tunniste, joka on joko päällä tai pois päältä. Maksettaessa tuote tunniste kytketään pois päältä, ja asiakas voi lähteä liikkeestä. Jos taas asiakas yritti lähteä liikkeestä maksamattoman tuotteen kanssa, lukijat tunnistivat aktiivisen tunnisteen ja laukaisivat hälytyksen. Tämä järjestelmä on käytössä edelleen tänä päivänä. (Roberti 2005, 1.)

Mario W. Cardullo sai ensimmäisen Yhdysvaltojen myöntämän patentin aktiiviselle RFID-tunnisteelle uudelleenkirjoitettavalla muistilla 23. tammikuuta 1973. Samana vuonna kalifornialainen liikemies Charles Walton sai patentin passiiviselle tunnistelle, jolla avattiin ovi ilman avainta. Korttiin sisällytetty tunniste kommunikoi oven läheisyyteen asetetun lukijan kanssa, ja kun lukija tunnisti kortilta hyväksytyn identiteettikoodin, ovi aukesi. Walton lisensoi tämän teknologian eräälle lukkovalmistajalle sekä muille yhtiöille. (Roberti 2005, 1.)

Myös Yhdysvaltain hallitus tutki RFID -teknologiaa. 1970-luvulla Los Alamoksen Kansallista laboratoriota pyydettiin luomaan järjestelmä, jonka avulla voitaisiin jäljittää ydinaineita. Ryhmä tutkijoita kehitti konseptin, jossa kuljetusajoneuvoon kiinnitettiin lähetin, jonka laitoksen porteilla olleet lukijat tunnistivat, jolloin saatiin lähetyksen, sekä myös esimerkiksi kuljettajan, tiedot. Tämä tekniikka kaupallistui 1980-luvun puolivälissä, kun se otettiin käyttöön automatisoiduissa tullimaksujärjestelmissä. (Roberti 2005, 1.)

Semipassiivisten järjestelmien historia siis ulottuu 1940-luvulle asti. Seuraava kehitysskaskel oli passiivinen tunniste, joka pystyttiin järkevästi ottamaan käyttöön vasta 1980-luvulla. Yksi kehityksen vauhdittajista oli autenttisuussovellukset, ehkä tärkeimpänä tuotantoeläinten merkitseminen tunnistilla. Tämän taustalla oli eri eläinyksilöiden erilaiset ruokintavaatimukset. Autojen käynnistysjärjestelmä oli toinen hyvin merkittävä käyttösovellus. Auton lukkopesässä on siis lukija, joka tunnistaa

auton avaimessa olevan tunnisteen ja varmistaa sen olevan oikea. Nämä ensimmäiset passiiviset RFID-tunnisteet toimivat LF-taajuusalueella perustuen magneettikenttään. Yleisesti ottaen passiiviset tunnisteen mahdollisti CMOS-teknologian kehittyminen. (SFS-käsikirja 301-1 2010, 11.)

Passiivisen RFID-teknologian osoitettua toimivuutensa RFID alkoi vakiinnuttaa asemaansa ja vähitellen yleistyä, mutta kehitys oli edelleen hidasta. LF-taajuisiin tunnisteesiin tarvittiin kallis lankakäämi, joka nosti tunnisteen hintaa. Lisäksi sovellusten määrää vähensi lyhyt lukuetaisyys. Jotkut yritykset esittivät standardoinnin puutteen estävän LF-tekniikan yleistymisen. Vaikka RFID-teknologialla oli rajoituksensa, sen tietyissä ympäristöissä läpi lyöminen sekä yleinen potentiaali synnyttivät painetta uuden HF-tekniikan kehittämiseksi. (SFS-käsikirja 301-1 2010, 12.)

LF-tekniikan kallis hinta ja standardoinnin puute loivat tarpeen HF-tekniikalle. Taajuutta nostamalla lankakäämi voitiin korvata antennilla, joka oli valmistettu etsaamalla tai painamalla. Uusien etsaukseen perustuvien prosessien ja RFID-mikropiirien avulla hintaa voitiin alentaa merkittävästi. Tällä tavoin valmistettu tarramainen etätunniste oli helppo kiinnittää vaikkapa pakkaukseen, ja lisäksi se mahdollisti esimerkiksi ohuet ja edulliset sähköiset liput ja kulunvalvontakortit. HF-taajuudella myös lukuetaisyyttä voitiin kasvattaa LF-tekniikan noin kymmenestä sentistä viiteenkymmeneen senttimetriin. Nykyään HF-taajuutta käytetään maailmanlaajuisesti ja se on lisäksi vahvasti standardoitu. (SFS-käsikirja 301-1 2010, 12-13.)

1990-luvun alussa IBM:n insinöörit kehittivät ja patentoivat UHF RFID-järjestelmän. UHF tarjosi pidemmän lukuetaisyyden, joka oli jopa lähes kymmenen metriä hyvissä olosuhteissa. Lisäksi tiedonsiirto oli nopeampaa. Tämä teknologia oli tuolloin kuitenkin vielä hyvin kallista matalien volyyymien sekä standardoinnin puutteen takia. Vuonna 1999 Massachusettsin Teknologian Instituuttiin perustettiin Auto-ID Center, jossa tutkittiin mahdollisuutta asettaa edullinen RFID-tunniste kaikkiin tuotteisiin niiden jäljittämiseksi läpi tuotantoketjun. Auto-ID Center kehitti kaksi ilmarajapintojen protokollaa (luokka 0 ja luokka 1) sekä EPC-koodin, jotka lisensoitiin Uniform Code Councilille. Uniform Code Council loi yhdessä EAN Internationalin kanssa EPCglobalin EPC -koodin kaupallistamiseksi. (Roberti 2005, 1.)

Vuonna 2004 otettiin käyttöön EPCglobalin UHF-luokan 1 Generation 2 -standardi, joka on tänä päivänä yleisin käytössä oleva UHF-taajuusalueen RFID-tekniikka. Gen 2:sta käytetään myös termiä RAIN RFID. (RFIDLab 2019.)

### **2.2.2 RFID –tunnisteet**

Yksi tärkeä piirre RFID-järjestelmissä on niiden virtalähde. Passiivisilla transpondereilla ei ole omaa erillistä virtalähdettä, jolloin niiden toimintaan tarvittava virta tulee saada lukijan tuottamasta sähkömagneettisesta kentästä. Aktiivisissa transpondereissa taas on oma erillinen virtalähde, kuten akku tai paristo. (Finkenzeller 2003, 13.)

Passiivinen transponderi koostuu antennista ja siihen liitetystä liitetystä mikrosirusta. Tunnisteen muotoja voi olla monia: transponderi voidaan liittää jollekin alustalle tai paketoida lähes minkälaiseen muotoon vain. Tämän mallisia tunnisteita kutsutaan monesti ”kovaksi tagiksi” tai ”tagiksi”. Transponderi voidaan myös puristaa kalvojen väliin, jolloin saadaan tarramainen etikettitunniste, ”label”, tai upottaa muoviseen kulkukorttiin tai avaimenperään. (Violino 2005, 2.)

Passiiviset tunnisteet voivat toimia LF-, HF-, tai UHF-taajuusalueilla. LF-järjestelmien tyypillinen taajuusalue on 124 kHz, 125 kHz tai 135 kHz ja HF-järjestelmillä 13,56 MHz, kun taas UHF-järjestelmät toimivat laajemmalla taajuusalueella 860 MHz:stä 960 MHz:iin. Jotkut järjestelmät käyttävät 2,45 GHz:in taajuusaluetta, minkä lisäksi vielä muitakin taajuusalueita on käytössä. (Violino 2005, 2.)

Käytettävä taajuusalue tulee valita käyttökohteen ja vaadittujen ominaisuuksien mukaan. Kärjistetysti voidaan sanoa, että mitä korkeampi taajuus, sitä korkeampi kantama ja tiedonsiirtonopeus voidaan saavuttaa. Matalammat taajuudet sopivat pienemmän lukuetaisyytensä vuoksi kulkukortteihin sekä sovelluksiin, joissa tietoturvallisuus on tärkeää. Korkeita taajuuksia käytetään, kun vaaditaan lisää lukuetaisyyttä. Nämä taajuudet ovat kuitenkin herkempiä esimerkiksi metallien ja nesteiden aiheuttamille häiriöille. UHF on tänä päivänä kaikkein yleisimmin käytetty taajuusalue. (SFS-käsikirja 301-1 2010, 40.)

Aktiivisia tunnisteita käytetään silloin, kun kohdetta tarvitsee seurata pidemmiltä etäisyyksiltä ja ne voidaan jakaa semi-passiivisiin ja täysin aktiivisiin tunnisteesiin. Semi-passiivisessa järjestelmässä lukija lähettää signaalin tunnisteele antaen sille herätteen, jolloin tunniste alkaa lähettää tietoa. Täysin aktiivisessa järjestelmässä tunniste lähettää tietoa, jotka antennit vastaanottavat ennalta määritellyin intervallein. Tyypillinen taajuusalue näillä järjestelmillä on 455 MHz, 2,45 GHz tai 5,8 GHz ja lukuetaisyys jopa 100 metriä. (Violino 2005, 1.)

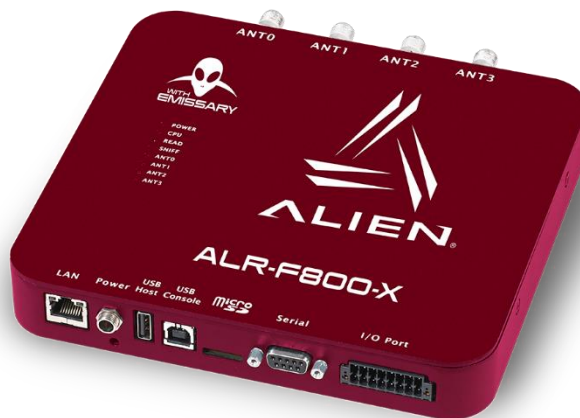
Passiivi- ja semi-passiivitunnisteet ovat yhteensopivia, ja yksittäisessä RFID-järjestelmässä voidaan käyttää näitä molempia. Kummankin tyyppisiä tunnisteita voidaan siis lukea ja kirjoittaa samoilla lukijoilla. Tämä kuitenkin edellyttää molempien, sekä passiivisen että semi-passiivisen, noudattavan samaa standardia. Aktiivisten tunnisteen standardit taas eivät ole yhteensopivia passiivisten tai semi-passiivisten tunnisteen kanssa. Samassa RFID-järjestelmässä ei siis voida käyttää sekä aktiivista että passiivista tai semi-passiivista tunnistetta, vaan nämä tarvitsevat omat erilliset lukijalaitteensa. (RFIDLab 2019.)

### **2.2.3 RFID –lukijat**

Lukulaite, tai lähetin-vastaanotin, joka on myös varustettu antennilla, tuottaa sähkömagneettisella kentällään tunnisteele tarvittavan energian tiedon lähettämiseen. Lukija on tunnisteeseen yhteydessä radioaaltojen avulla ja muuntaa tunnisteelta tulleen koodatun tiedon digitaaliseen muotoon, joka taas voidaan lukea lukijalta tai siirtää eri järjestelmiin. Lukijan avulla voidaan siis lukea tunnisteen tietoja, mutta myös kirjoittaa näitä tietoja. Lisäksi tunniste voidaan lukijan avulla lukita niin, ettei tietoja voida enää muuttaa, tai tarvittaessa tuhota tunnisteele olevat tiedot. (SFS-käsikirja 301-1 2010, 30.)

RFID-lukijoita on sekä kiinteitä että mobiileja. Kiinteissä lukijoissa ilman integroitua antennia on tyypillisesti yksi, kaksi, neljä tai kahdeksan antenniporttia, joihin voidaan liittää erillisiä antennejä. Nämä ovat hyvin tyypillisiä logistiikassa, jossa käytetään yleisesti esimerkiksi useammasta antennista koostettua RFID-lukuporttia. Kiinteä lukija voi olla varustettu myös antennilla, jolloin voidaan luoda esimerkiksi kiinteä

lukupiste tai kassapiste. Kiinteät lukijat integroidulla antennilla voivat sisältää lisäksi yhden tai useamman liittynnän erilliselle antennille. Tällaisen kiinteän lukijan esimerkki on esitetty kuvassa 3. Näillä edellä mainituilla lukijoilla on yleensä jokin seinä- tai tietokonepohjainen käyttöliittymä, ja ne voivat sekä lukea että kirjoittaa tietoa tunnisteeille. Kulunvalvontalukijat ovat myös kiinteitä lukijoita integroidulla antennilla. Nämä kuitenkin pääasiassa vain lukevat tiedon ja välittävät sen eteenpäin. (RFID-Lab 2019.)



Kuva 3. Alien Technologies ALR-F800-X neliporttinen kiinteä RFID -lukija (Alien Technologies [Viitattu 22.3.2019]).

Käsi­käyt­­töi­set laitteet taas mahdollistavat mobiiliin luennan ja yksittäisten tuotteiden tarkastelun. Nämä käsilukijat, esimerkki kuvassa 4., sisältävät tyypillisesti GPRS-, GSM- tai 3G-yhteyden tai WLAN:in tai näiden yhdistelmän, joka mahdollistaa käsilukijan yhteyden internetiin sekä eri tietojärjestelmiin. Käsilukijoissa voi RFID-ominaisuuksien lisäksi olla myös viivakoodin, joko 1D- tai 2D-koodin, lukuominaisuus. Puhelimeen tai tablettiin Bluetoothin tai USB:n avulla yhdistettäviä moduuleja on myös useita erilaisia, ja eräs näistä on esitetty kuvassa 5. (RFIDLab 2019.)



Kuva 4. Nordic ID HH53 RFID mobiililukija (Nordic ID [Viitattu 22.3.2019]).



Kuva 5. Nordic ID EXA31 RFID/viivakoodi Bluetooth lukijamoduuli (Nordic ID [Viitattu 22.3.2019]).

Tunnisteiden ja lukijoiden välinen tiedon välitys tapahtuu joko magneettisesti lähikentässä tai sähkömagneettisesti kaukokentässä. LF- ja HF-taajuuksilla antenni muodostuu silmukoista ja energia siirtyy lähikentässä magneettisen induktion avulla. Tällöin lukijan antennin luoma kenttä indusoi sähkövirtaa tunnisteessa. UHF-taajuuksilla ja mikroaaltoalueella käytetään sähkömagneettista kytkeytymistä radioaaltojen absorption avulla. Yleisin antennityyppi kaukokenttää käytettäessä on dipoliantenni. (SFS-käsikirja 301-1 2010 31-33.)

Antennien avulla voidaan säätää lukualueen muotoa ja kokoa, ja LF- ja HF-alueilla saavutetaan isommalla antennilla sekä suuremmalla antennin silmukkamäärällä suurempi lukuetaisyys. Dipoliantenneissa taas niiden polarisaatiolla on suuri merkitys. Lineaaripolarisoitu antenni lähettää vain yhdensuuntaisesti värähtelevää säteilyä, jolloin tunnisteiden on oltava tietyssä asennossa antenniin nähden. Ympyräpolarisoidussa antennissa säteily on ympyränmuotoista, jolloin tunniste voidaan lukea missä tahansa asennossa. Lineaaripolarisoitu antenni on helpompi suunnata ja sillä voidaan saavuttaa korkeampi lukuetaisyys. Toisaalta taas ympärisäteilevällä antennilla on korkeampi lukuvarmuus, sillä tunnisteiden suuntaus ei vaikuta sen lukemiseen. (RFIDLab 2019.)

### 2.3 Teknologioiden vertailu

Projektin aivan ensiaskeleita oli päättää, mitä teknologiaa käytettäisiin. Vaihtoehtoina olivat käytännössä 2D-viivakoodit, eli QR-koodit, tai RFID. Melko nopeasti kävi kuitenkin selväksi, että valinta pääasiallisesti toteutustavaksi olisi RFID. Projektin tärkein päämäärä oli siirtyä pois manuaalisesta osien tietojen kirjaamisesta, joten sama päämäärä olisi periaatteessa saavutettu myös viivakoodeja hyödyntämällä. RFID:n voidaan kuitenkin ajatella olevan seuraava askel viivakoodeista, ja RFID:ssä on suuri määrä huomattavia etuja verrattuna viivakoodeihin. Joissakin yksittäisissä ominaisuuksissa tai tapauksissa viivakoodit ovat RFID:tä parempia, mutta kokonaisuutta ajatellen RFID on selkeästi parempi vaihtoehto. Viivakoodien avulla voitaisiin siirtyä pois manuaalisesta sarjanumeroiden kirjauksesta, mutta RFID tuo mukanaan eräitä ominaisuuksia, joiden avulla prosessit sähköistymisen ja automatisoitumisen lisäksi tehostuu huomattavasti myös muilla tavoin. Hyvin usein käytetään kuitenkin erilaisia hybridi-järjestelmiä, joissa on yhdistetty sekä RFID että viivakoodit, jolloin on mahdollista saada molempien teknologioiden parhaat puolet käyttökohteesta riippuen. Näin on tarkoitus toimia myös tässä projektissa.

RFID:n kenties suurin yksittäinen etu on etäluku. Lukijan ja tunnisteiden välillä ei tarvitse olla suoraa näköyhteyttä, jonka lisäksi lukuetaisyys on huomattavasti suurempi. Pitkästä lukuetaisyydestä voi kuitenkin olla myös haittaa, sillä lukutilanteessa lukija voi löytää halutun tunnistettavan yksilön lisäksi paljon muitakin ympäristössä



sijaitsevia tunnisteita. Tätä kutsutaan yleisesti hajaluennaksi. Tässä viivakoodeilla on sinänsä etulyöntiasema, sillä lukija on helppo kohdistaa juuri haluttuun viivakoodiin. RFID-lukijoissa on kuitenkin yleensä mahdollisuus säätää sen lähetystehoja, jonka avulla voidaan vaikuttaa lukuetaisyyteen ja näin helpottaa tiettyjen tunnisteiden lukua.

Etäluke mahdollistaa myös useiden tunnisteiden samanaikaisen lukemisen, kun taas viivakoodien kanssa joudutaan käymään jokainen koodi yksittäin lävitse. Tämä tehostaa paljon esimerkiksi inventaariota, josta on myös hyviä case-esimerkkejä. Yksi tällainen löytyy vaatealalta, jossa RFID:tä on alettu hyödyntämään paljon. Saksalainen vaateketju Gerry Weber on vuodesta 2010 kiinnittänyt kaikkiin tuotteisiinsa RFID-tunnisteella varustetun pesulapun. Perinteisin menetelmin 20 neliön myymälän inventoinnissa kului aikaa kaksi työpäivää. RFID:n avulla samassa inventoinnissa aikaa kului vain noin kymmenen minuuttia.

RFID ei ole myöskään altis ympäristön haitoille, kuten kuralle ja lialle. Nämä eivät olennaisesti vaikuta lukukykyyn, vaikka suuret määrät tietyn tyyppistä vierasta materiaalia voisivatkin heikentää lukuetaisyyttä. Perinteisen 1D-viivakoodin tunnistus taas rampautuu täysin, jos edes osa viivakoodista peittyy tai rikkoutuu. QR-koodit taas virheenkorjauksen tasosta riippuen sallivat jopa lähes kolmasosan koodista turmeltuvan. Kulmien kohdistusneliöiden tulee kuitenkin olla ehjiä ja näkyvissä, jotta koodi voidaan lukea. RFID-tunniste taas voi koteloinnista riippuen kestää huomattavia määriä mekaanista rasitusta sekä haitallisia aineita.

Viivakoodin yksi suuri etu on sen hinta. Tulostettu viivakoodi on hyvin edullinen, kun halvimmatkin RFID-tunnisteet maksavat joitakin kymmeniä senttejä. Monet tunnisteet maksavat kuitenkin useita euroja. RFID-tunnisteiden hinta on yleisesti ottaen todella vahvasti riippuvainen tilausmääristä. Tunnisteen hinta voi laskea suurilla tilausmäärillä yli puoleen verrattuna yksittäisten kappaleiden hintaan.

RFID-tunnisteella olevaa tietoa voidaan muuttaa useita kertoja uudelleen kirjoittamalla, jonka lisäksi tunnisteella olevia tietoja on vaikea väärentää. Viivakoodi taas on tulostuksen jälkeen muuttumaton, jonka lisäksi viivakoodit ovat helposti kopioitavissa.

Osa yllä luetelluista RFID:n eduista on tämän projektin kannalta huomattavasti oleellisempia kuin toiset. Esimerkiksi viimeisimpänä mainittu uudelleenkirjoittamisen mahdollisuus ei sinänsä ole tarpeellinen, sillä tunnisteita ei tulla siirtämään osista toiseen, jolloin tunnisteella olevia tietoja ei sinänsä tarvitse muokata. Uudelleenkirjoittamisen mahdollisuus on kuitenkin hyödyllinen esimerkiksi lisätietojen merkitsemisen muodossa. Jos osa on vaikkapa vioittunut, tunnisteeseen voitaisiin kirjoittaa kuvaus viasta sekä sen ilmentymisajasta ja -paikasta. Tällä hetkellä vioittuneeseen osaan kiinnitetään esimerkiksi nippusiteellä kortti, johon on kirjoitettu tiedot vioittumisesta. Tunnisteeseen kirjoitettavalla informaatiolla voitaisiin haluttaessa korvata tämä kortti. Näitä kahta tapaa olisi ehkä kuitenkin kannattavampaa käyttää rinnakkain, sillä kortti indikoi automaattisesti jokaiselle henkilölle osan olevan käyttökelpoton, vaikka siinä ei ulkoisia vaurioita olisikaan. Jos tiedot ovat vain tunnisteelle tallennettuna, osan täytyisi olla vähintäänkin jollain tarralla, tai muulla helposti kiinnitettävällä ja selkeällä tavalla, merkattu käyttökelvottomaksi tai tarkistusta vaativaksi.

Projektin kannalta oleelliseksi eduksi katsottiin nimenomaan etäluvun mahdollisuus. Tämä nopeuttaa osan tunnistusta, ja samalla kertaa voidaan lukea myös useampi autoon kiinnitettävä osa, jos osat ovat ensin esimerkiksi kerättynä tiettyyn hyllykköön. Lisäksi etäluku mahdollistaa osan tunnistamisen sen ollessa kiinnitettynä autoon, sillä tunniste on hyvin todennäköisesti ainakin jossain määrin piilossa, kun osa on asennettuna autoon, jolloin lukijan kohdistaminen viivakoodiin olisi mahdotonta. RFID-tunnisteen kanssa riittää, että lukijan saa tunnisteen lähettyville.

Lisäksi viivakoodien kiinnitys joihinkin osiin olisi, jos ei mahdotonta, niin erittäin epäkäytännöllistä. Tällaisia osia ovat esimerkiksi johtosarjat. Johtosarjaan ei voi kiinnittää viivakoodia siten, että se olisi johtosarjan suuntainen, kuten esimerkiksi sukassa oleva viivakoodi, joka kutistettaisiin johtosarjan päälle. Johtosarjat ovat pääosin halkaisijaltaan niin pieniä, että viivakoodista tulisi niin pieni, ettei sitä voi mitenkään lukea. Lisäksi se kaareutuisi johtosarjan päällä hankaloittaen lukua. Viivakoodi siis pitäisi kiinnittää johtosarjaan esimerkiksi siitä riippuvalla lipukkeella. Tämä olisi äärimmäisen epäkäytännöllistä, ja lipukkeet olisivat monessa paikkaa pahasti tiellä sekä voisivat repeytyä irti. Pienikokoinen RFID-tunniste taas voidaan sijoittaa kutistesukan tai johtosarjassa liittimien liitosten suojana olevien kumisten lämmöllä kutistettavien suojaavien muotokappaleiden alle.

Viivakoodien ainoaksi eduksi tätä projektia ajatellen jää siis sen oleminen edullisempi vaihtoehto. Viivakoodien käyttämisen haittapuolet taas ovat niin moninaiset verrattuna RFID:hen, että edullisempi hinta ei ole riittävä peruste kyseisen tekniikan valinnalle.

Yhteenvetona RFID valittiin pääasialliseksi toteutustavaksi seuraavista syistä:

- etäluvun mahdollisuus
- liian ja mekaanisen rasituksen parempi kesto
- kiinnityksen helppous pienikokoisiin osiin sekä johtosarjoihin.

Taulukossa 1. on esitetty vertailua QR-koodien sekä RFID-tunnisteiden välillä.

Taulukko 1. Vertailu QR -koodien ja RFID -tunnisteiden välillä.

	QR -koodi	RFID
<b>Lukuetäisyys</b>	Matala, vain joitakin senttejä	Jopa metrejä
<b>Näköyhteys</b>	Vaaditaan, lukijan tulee nähdä luettava tunniste	Ei vaadita, tunnisteen orientaatiolla lukijaan nähden ei myöskään suurta merkitystä
<b>Likaantumisen vaikutus</b>	Haittaa tai lamauttaa luettavuuden täysin	Ei vaikutusta
<b>Mekaanisen rasituksen kesto</b>	Repeytynyttä tai vioittunutta koodia ei voida lukea	Etenkin koteloidut tunnistet kestävät hyvin rasitusta
<b>Uudelleenkirjoitettavuus</b>	Ei	Voidaan kirjoittaa uudelleen useita kertoja
<b>Moniluenta</b>	Ei, tunnistet tulee lukea yksitellen	Kyllä, kymmeniä tunnistet voidaan lukea samanaikaisesti
<b>Kustannus</b>	Tunnistet joitakin senttejä kappale	Tunnistet 0,50 € - 5 €
<b>Kiinnitettävyyys</b>	Tulostettu viivakooditarra helppo liimata osiin joissa pinta-alaa, mutta hankala kiinnittää pieniin osiin	Tarramallinen tunniste helppo liimata osiin joissa pinta-alaa, pienikokoisiin ja haastaviin osiin voidaan käyttää kompakteja kovia tunnistet

### 3 NYKYTILA-ANALYYSI

#### 3.1 Tausta

Automaattista tunnistusta oli suunniteltu jo WRC-toimintaa aloitettaessa ja ensimmäistä autoa rakennettaessa vuonna 2016, ja myös erinäisiä testauksia oli suoritettu. Projekti ei kuitenkaan ollut edennyt kovin pitkälle, sillä projektille ei ollut osoittautunut riittävästi resursseja. Lisäksi toimintatavat ja prosessit olivat vielä niin uusia ja tuntemattomia, että olisi ollut vaikeaa rakentaa automaattisen tunnistuksen järjestelmää ilman tarkkaa tietoa siitä, mitä halutaan tunnistaa sekä miten ja milloin.

Yhtenä ideana oli ollut myös merkitä osat RFID-tunnisteilla, ja auton kokoamisen jälkeen se vain ajettaisiin läpi lukuantenneista koostuvasta portista, jolloin saataisiin kerralla listaus kaikista autossa olevista osista ja niiden tiedoista. Aivan tällaista järjestelmää ei tässä opinnäytetyössä lähdetty rakentamaan, eikä se todennäköisesti olisi edes mahdollista. Tunnisteiden, etenkin pienikokoisten, lukuetaisyys on melko rajallinen, jonka lisäksi iso osa tunnisteista jäisi lukemisen kannalta epäedulliseen paikkaan, kuten auton alle, moottoritilaan sekä sisätiloihin. Vaikka antennin lähettämät radioaallot ja tunnisteen lähettämät signaalit heijastelevatkin eri pinnoista ja signaali myös läpäisee tiettyjä materiaaleja, todennäköisyys sille, että edellä mainitun kaltainen portti tunnistaisi säännöllisesti kaikki autossa olevat tunnistet, on melko pieni. Osien lukemisessa valmiista autosta on myös se heikkous, että tässä vaiheessa havaittu jonkin osan kilometrirajan ylitys johtaa melko työläisiin toimenpiteisiin. Osan lukeminen ennen sen asennusta on huomattavasti kannattavampaa, sillä tällöin ei jouduta tilanteeseen, jossa valmista autoa joudutaan purkamaan jonkin osan vaihtamisen vuoksi.

Osien sähköinen luku oli tullut muutaman kerran esille eri asiayhteyksissä myös aiemmin opinnäytetyön tekijän yrityksessä olon aikana. Jotkut työntekijät ovat järjestelmästä maininneet sitäkin aikaisemmin. Jotkut henkilöt kokevat sarjanumeroiden ylös kirjaamisen hankalana ja epämiellyttävänä, jolloin lukijan käyttäminen mahdollistaisi kynnystä osien tunnistamiselle ja voisi nostaa myös jossain määrin työntekijöiden tyytyväisyyttä. Järjestelmää siis on kaivattu ja kaavailtu jo pidemmän aikaa.

Projekti lähti kuitenkin viimein kunnolla käyntiin, kun opinnäytetyön tekijälle mietittiin mahdollista opinnäytetyön aihetta. Ajoitus oli myös sen kannalta sopiva, että uuden sukupolven autojen suunnittelu oli piakkoin käynnistymässä. Jos automaattinen tunnistus haluttiin saada käyttöön uuden sukupolven autoihin laajamittaisesti, tuli projekti saada eteenpäin mahdollisimman nopealla aikataululla. Jos projektissa ilmeneisi, että tiettyjä asioita automaattisen tunnistuksen kannalta tulisi ottaa huomioon jo auton suunnitteluvaiheessa, tieto tästä tulisi saada suunnittelutoimistoon mahdollisimman aikaisin. Tällaisia asioita voisi olla esimerkiksi se, tuleeko osan suunnittelussa ottaa huomioon tunniste ja sen sijoittelu, ja tarvitseeko tunnisteelle esimerkiksi piirtää osaan syvennys, johon tunniste asetettaisiin.

Projektia pidettiin yleisesti ottaen opinnäytetyöksi sopivana, mutta heti alussa kuitenkin todettiin, että projekti kokonaisuutena voisi olla opinnäytetyöksi liian laaja. Opinnäytetyöhön päätettiin sisältää teknologiaselvitys, teknologioiden testausta sekä pilotti. Näistä saatavia tuloksia voitaisiin käyttää hyväksi loppuprojektin aikana.

### **3.2 Prosessikuvaukset**

Kullakin tuotannossa käytettävällä osalla on oma osanumeronsa, jonka lisäksi osalla on uniikki sarjanumero. Tämä sarjanumero koostuu joko osan tilausnumerosta tai valmistusajankohdasta sekä varsinaisesta sarjanumerosta. Tällä hetkellä nämä osat tunnistetaan ja yksilöidään näiden sarjanumeroiden perusteella se visuaalisesti tarkastamalla.

Ralliautoa kootessa siihen käytetyistä osista tarkastetaan sarjanumerot siten, että työntekijä tarkastaa sarjanumeron, kirjaa sen ylös ja myöhemmin lisää nämä tiedot järjestelmiin. Tämä prosessi vie aikaa ja vaatii manuaalista työtä. Lisäksi virheen mahdollisuuksia on melko paljon: sarjanumeroa tarkistettaessa, sitä ylös kirjoitettaessa sekä järjestelmiin lisätessä. Sarjanumerot voi myös kirjata ylös ja lisätä järjestelmiin eri henkilö, mikä lisää virheen mahdollisuutta johtuen mahdollisesta käsialan tulkinnanvaraisuudesta tai epäselvyydestä, jos kirjaukset on tehty käsin kirjoittamalla. Nämä virheet, joita väistämättä välillä sattuu, luovat paljon ylimääräistä työtä, kun niitä selvitetään ja korjataan.

Osalle auton osista myös tehdään eliniän seuranta, niin sanottua *lifingia*. Tämä tarkoittaa sitä, että osille kertyviä ajokilometrejä seurataan. Näille osille on myös asetettu kilometrirajat, ja kun osalle kertyneet kilometrit ylittävät tämän rajan, osaa ei tule enää käyttää kilpailutoiminnassa. Näin varmistutaan osien keston luotettavuudesta ja pienennetään teknisestä viasta johtuvan keskeytyksen tai suorituskyvyn laskemisen todennäköisyyttä. Jos tällaisen osan sarjanumero kirjataan järjestelmään virheellisesti, se tarkoittaa sitä, että kilometrit kertyvät eri osalle, kuin mikä autossa on todellisuudessa kiinni.

Osien kirjaamisessa järjestelmiin vasta auton kokoamisen jälkeen on myös se heikkous, että mahdolliset osien kilometrien ylitykset tulevat esille vasta tässä vaiheessa. Tämä tarkoittaa siis sitä, että osa joudutaan purkamaan autosta ja vaihtamaan, mikä luo paljon ylimääräistä työtä. Autojen kokoamiselle, testaukselle ja kuljetukselle kisapaikoille on monesti melko tiukat aikataulut, ja jonkun osan korvaamisen äkillinen tarve voi luoda suuriakin odottamattomia ongelmia.

### **3.3 Käytettävät järjestelmät ja niiden integraatio**

Yrityksessä on käytössä toiminnanohjausjärjestelmänä Microsoftin Dynamics NAV, jonka lisäksi käytetään yrityksen sisällä kehitettyä TestLoggeriksi kutsuttua järjestelmää. Käytössä olevien järjestelmien ja automaattisen tunnistuksen välille oli rakennettava integraatio tiedonkulun mahdollistamiseksi. NAV:ia käytetään yrityksessä yleisen ERP:n tapaan, eli muun muassa varastohallintaan, ostotilausten luomiseen ja hallintaan, tuotannonhallintaan sekä talouden toimenpiteiden suorittamiseen. TestLogger on järjestelmä ralliautojen käyttöön liittyvän toiminnan ohjaamiseen sekä tiedon varastointiin. Järjestelmään muun muassa tallennetaan tarvittavat tiedot joka kerta, kun autot liikkuvat esimerkiksi testeissä tai ralleissa. Toiminnanohjauksen osalta järjestelmässä hallitaan spesifikaatiot autojen rakentamiseen ja huoltamiseen. Myös osien elinkaaren seuranta hallitaan TestLoggerilla.

RFIDLab Finland Ry:n kautta lähetettiin tiedote kyseisen yhdistyksen jäsenille, joita ovat esimerkiksi useat RFID-alan toimijat Suomessa. Tiedotteessa oli lyhyt kuvaus

projektista, sen taustoista sekä tavoitetilasta. Tämän tiedotteen myötä tuli useita yhteydenottoja eri yrityksiltä, jotka tarjoavat RFID:hen liittyviä palveluita. Monet yritykset tarjoavat järjestelmän toteutuksia alusta loppuun lähtien tunnisteen valinnasta järjestelmän luontiin ja sen käyttöönottoon. Tässä projektissa pääasiallinen ulkopuolisen yrityksen avuntarve oli kuitenkin integraatio, ja tarkemmin työkalut sen toteuttamiseen. Johtuen TestLoggerista ja sen luonteesta, lopullinen integraatio haluttiin tehdä täysin yrityksen sisällä. Tämän johdosta järjestelmä joudutaan implementoimaan yrityksen sisäverkossa ja ulkopuolisten pilvipalvelujen käyttäminen ei ole mahdollista.

Integraatio toteutettaisiin siis jonkin taustajärjestelmän avulla: lukijat voisivat tietoa johonkin järjestelmään tai sijaintiin, josta NAV ja TestLogger noutaisivat kyseisen tiedon.

Projektin edetessä havaittiin, että TestLoggerin ja NAV:in sulauttaminen ei välttämättä olisi mahdollista. Ongelmana oli muun muassa NAV:in eräs sarjanumeroihin liittyvä ominaisuus. Kun osa kirjataan ulos varastosta, sen sarjanumero myös katoaa samalla NAV:ista. Kun tämä osa luetaan auton kokoamisen yhteydessä, NAV katsoo, että kyseistä sarjanumeroa ei ole olemassa ja menee virhetilaan. Lisäksi joitain autojen osia huolletaan, jonka jälkeen osa siirtyy toiselle osanumerolle, joka on muuten sama, mutta siinä on pääte -U, used, eli käytetty. Näin menetellään kirjjanpidollisista syistä, sillä käytetyn osan arvo on alempi kuin uuden. NAV:issa jokin osa siis voi olla joko uusi tai käytetty, mutta TestLoggerissa taas ei erotella uusia tai käytettyjä osia.

Ensimmäinen ongelma saadaan selvitettyä sillä, että luovutaan sarjanumeroiden käytöstä NAV:issa. Sarjanumeroista luopuminen NAV:issa ei aiheuta oikeastaan mitään ongelmia verrattuna nykytilanteeseen, eikä siinä ole haittapuolia. Sarjanumeroiden käyttö NAV:issa ei ole missään vaiheessa toiminut aivan niin kuin alun perin oli ajateltu, ja niitä käytettiin lähinnä vain sarjanumeroiden generointiin järjestelmään, kun uusi osa valmistettiin tai vastaanotettiin varastossa toimittajalta. Nämä sarjanumerot voidaan kuitenkin luoda myös TestLoggerissa, ja varastomiesten mukaan tämä on myös helpompaa TestLoggerissa kuin NAV:issa. Tähän toimintata-

paan siis kannattaa siirtyä muutoinkin riippumatta automaattisen tunnistuksen järjestelmästä ja sen käyttöönoton aikataulusta. Lisäksi nykyisellään osia ulos kirja- tessa uloskirjausta ei kohdisteta juuri siihen sarjanumeroon, joka varastosta viedään pois, vaan ulos kirjataan vain joku kyseisen osanumeron osista, jotta varastosaldo pitää paikkaansa. Näin ollen sarjanumerotiedot eivät pidä paikkaansa myöskään sen osalta, mitä osia varastossa tarkalleen on ja mitä ei.

Toinen ongelma integraation kannalta, eli käytetyt osat, on vaikeampi tapaus. NAV:issa osa voi siis olla joko uusi tai käytetty ja näin ollen eri osanumerolla, mutta TestLoggerissa tätä ei ole eritelty, vaan kaikki ovat samalla osanumerolla. Tällöin kahteen eri järjestelmään pitäisi siis viedä käytännössä eri tietoa, mikä ei taas ole mahdollista. Jos NAV:issa olisi sarjanumerot, voitaisiin mahdollisesti luoda sellainen toiminnallisuus, että sarjanumeron perusteella järjestelmä pystyy päättämään, onko osa uusi vai käytetty: jos osa on ollut aiemmin liitettynä johonkin autoon, osa katsotaan käytetyksi ja viedään käytetyn osanumeron alle. Jos osalla taas ei olisi aiempaa historiaa, se vietäisiin uuden osan alle. Tämä ei kuitenkaan olisi mahdol- lista, koska sarjanumeroista NAV:issa oltaisiin luopumassa. Ei ole myöskään var- maa, saataisiinko kuvailtu toiminnallisuus toteutettua ja toimisiko se aukottomasti.

Edellä mainittujen ongelmien takia tiedonkulku lukijoiden ja TestLoggerin sekä NAV:in välillä jouduttaisiin siis erottelamaan. TestLoggeriin vietäisiin RFID-tunnis- teiden avulla yksilöityjä sarjanumerotietoja osista, kun taas NAV:iin tehtäisiin vain varaston kulutuksia esimerkiksi osan hyllypaikalla olevien QR-koodien avulla. Täl- löin ei saada hyödynnettyä kaikkia RFID-tekniikan tuomia hyötyjä, kuten inventaa- rion nopeutumista, mutta kyseinen toimintatapa on aiemmin mainittujen ongelmien takia käytännössä ainoa mahdollinen. Lukijalla tehtävä varastosaldon muutos on kuitenkin helpompi ja nopeampi tehdä kuin nykyinen tietokoneella NAV:iin tehtävä muutos, joten parannusta nykytilanteeseen nähden tapahtuisi, vaikkei optimi-tilan- netta saavutettaisiinkaan.



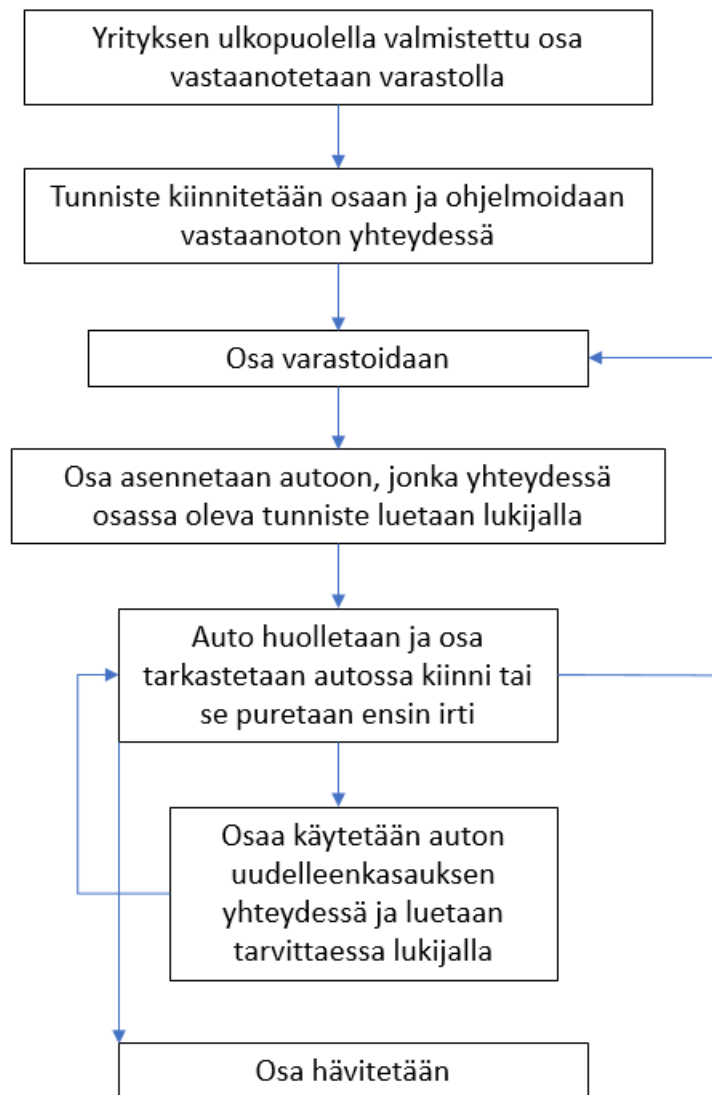
## 4 TOIMINNAN TEHOSTAMINEN

### 4.1 Prosessien tehostus

Prosessia, jossa osien osanumerot kirjataan manuaalisesti, haluttiin tehostaa siten, että manuaalisesta kirjaamisesta voitaisiin luopua kokonaan. Tämänkaltaista prosessia voidaan tehostaa huomattavasti automaattista tunnistusta hyödyntäen.

Automaattinen tunnistus vähentäisi huomattavia määriä työaikaa sekä välittömästi että myös välillisesti ja nostaisi näin työtehokkuutta. Nykyiseen tyyliin verrattuna automaattisen tunnistuksen avulla osien kirjaaminen poistaisi täysin kaksi työvaihetta: osan sarjanumeron ylös kirjoittamisen ja sen lisäämisen TestLoggeriin. Voidaan ajatella, että sarjanumeron tarkistus säilyy työvaiheena edelleen, mutta erona on numeron tarkistus visuaalisen metodin sijasta se lukijalla lukemalla. Lukijan käyttäminen on kuitenkin huomattavasti nopeampaa kuin visuaalinen tarkistus. Lukijalla voidaan käsitellä etätunnistuksen ansiosta nopeasti vaikkapa hyllyköllinen osia liikuttamalla lukijaa niiden läheisyydessä.

Lukija säästää aikaa siis välittömästi sarjanumeron tarkistuksen ja osan lukemisen ollessa huomattavasti nopeampaa kuin manuaalisella visuaalisella metodilla sekä poistamalla ylös kirjauksen ja TestLoggeriin lisäämisen tarpeen. Välillisesti lukija taas säästää aikaa vähentämällä virheiden määrää, ja näin ollen niiden selvittelyyn ja korjaamiseen kuluva aikaa. Kuviossa 2. on esitelty tyypillinen osan elinkaari sekä se, miten lukijajärjestelmä vaikuttaisi eri toimintoihin prosessin eri vaiheissa.



Kuvio 2. Osan elinkaaren prosessikuvaus.

Visuaalisesti sarjanumeron tarkistus voi olla myös mahdotonta, jos osa, joka halutaan tarkistaa, on jo autossa kiinni. Tällöin sarjanumero saattaa jäädä jonkin rakenteen tai toisen osan peittämäksi. RFID:n etätunnistuksen avulla voitaisiin lukea myös tällainen osa, sillä suoraa näköyhteyttä tunnisteseen ei tarvita. Lukijoita on olemassa hyvin kompakteja, jolloin lukijan saa ahtaaseenkin paikkaan tarvittaessa. Yleensä tällaiset lukulaitteet ovat vain moduuleja, jotka yhdistetään Bluetoothin avulla älypuhelimeen tai tablettiin.

## **4.2 Integraation vaatimukset**

Ehdoton vaatimus integraatiolle, ja järjestelmälle kokonaisuutena, oli sen helppokäyttöisyys ja saumattomuus. Tämä tarkoitti sitä, että kaiken käytön tuli jatkossakin tapahtua ennalta olevissa järjestelmissä. Uudeksi elementiksi tulisi tietysti lukijat ja niiden käyttöliittymä sekä mahdollisesti tietokonepohjainen ohjelmisto tunnistneiden ohjelmoimiseksi, mutta näiden uusien elementtien tulisi kommunikoida NAV:in ja TestLoggerin kanssa saumattomasti. Käyttäjän ei siis pidä tarvita tehdä jotain toimenpiteitä integraatiota hallinnoivassa taustajärjestelmässä tai jonkun henkilön ei pidä tarvita aktiivisesti ylläpitää tätä järjestelmää.

## **4.3 Lukijalaitteen käyttöliittymän vaatimukset**

Automaattisen tunnistuksen järjestelmä toteutettaisiin pääosin liikuteltavia käsipäätteitä hyödyntäen. Näiden käsipäätteiden käyttöliittymä tulisi räätälöidä täysin yrityksen tarpeisiin. Tärkein ominaisuus tämän käyttöliittymän kannalta olisi sen helppokäyttöisyys. Oli kyseessä sitten osan lukeminen auton kasauksen yhteydessä tai varastosaldon muutos, lukijan käytön tulee olla mahdollisimman helppoa ja nopeaa. Näin saadaan kynnys lukijoiden käyttöön pidettyä mahdollisimman matalana. Lisäksi jotkut tilanteet, joissa lukijoita käytetään, ovat hyvin hektisiä, kuten esimerkiksi ralleissa tapahtuvat huollot. Tällaisissa tilanteissa ei pidä joutua miettimään, kuinka lukija toimikaan ja mitä pitää tehdä. Toisaalta toimenpiteet, joita lukijalla tehdään, eivät ole erityisen monimutkaisia eikä niitä ole paljon erilaisia. Näin ollen käyttöliittymä on helppo rakentaa niin, että se on mahdollisimman käyttäjäystävällinen ja yksinkertainen.

## 5 TEKNOLOGIOIDEN TESTAUS

### 5.1 RFID

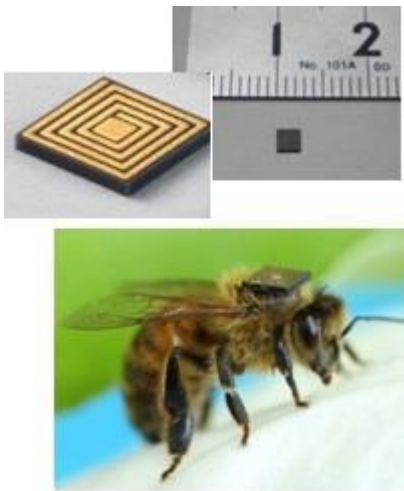
#### 5.1.1 Tunnisteiden valinta

Erilaisia RFID-tunnisteita on nykypäivänä tarjolla todella paljon. Tässä projektissa käytettävä taajuusalue, UHF, on yleisin nykyään käytettävä RFID-tekniikka, ja täten taajuusalue ei juurikaan rajaa tarjontaa.

Vaikka tunnisteiden valikoima onkin suuri, potentiaalisten yksilöiden määrä alkaa vähentyä huomattavasti, kun aletaan käydä lävitse eri kriteereitä. Moottoriurheilussa paino on aina suuri tekijä. Tämä johtaa siihen, että projektissa käytettävien tunnisteiden tulee olla kevyitä, jotta niiden tuoma yhteenlaskettu lisäpaino autoon ei ole merkittävä. Sen vuoksi oli selvää, että tässä projektissa ei voitu käyttää kovinkaan järeitä tunnisteita. Monet kovat tunnisteet, etenkin sellaiset, jotka on tarkoitettu kestämään vaikeita olosuhteita, ovat melko suurikokoisia. Mitään maksimikokoa ei tässä projektissa sinänsä oltu määritetty, mutta koska paino ja koko kulkevat pitkälti käsi kädessä, jos halutaan tunnisteiden olevan kevyt, on se myös pakostakin pieni. Pieni koko tekee tunnisteesta myös hyvin monikäyttöisen, sillä silloin se on asennettavissa hyvin laajalti eri paikkoihin. Tiivistettynä halutun tunnisteiden siis tulee olla pienikokoinen ja kevyt, mutta sillä tulee olla kuitenkin kohtuullinen suorituskyky ajatellen lukuetaisyttä sekä mekaanisen rasituksen kestoa.

Tunnisteita etsittiin eri toimittajien verkkosivuilta ja näin yritettiin kartoittaa erilaisia sopivia tunnisteita. Alkuun oli ideana löytää käytännössä kaksi eri tunnistetta: yksi sellainen tunnistee, joka olisi helppo asentaa johtosarjoihin sukan alle, ja yksi universaali tunnistee, jota voitaisiin käyttää kaikkialla muualla. Tämä universaali tunnistee olisi siis jonkinlainen pienikokoinen kova tunnistee. Kovat tunnisteet ovat sinänsä kaikkein monikäyttöisimpiä, sillä se voidaan asentaa lähes millaiseen osaan vain. Tällaista tunnistetta etsittiin useasta eri lähteestä useilta eri valmistajilta, ja parilta

alan toimijalta saatiin myös tällaisia tunnisteita näytteinä. Yksi pienimmistä saatavilla olevista tunnistuksista oli Hitachi Chemicalin Ultra Small Package Tag, USPT, jonka fyysiset ulkomitat ovat vain 2,5 mm x 2,5 mm x 0,4 mm. Näin pieni tunnistete olisi asennettavissa käytännössä mihin tahansa. Kyseinen tunnistete on esitetty kuvassa 6.



Kuva 6. Hitachi USPT (Hitachi Chemical, [Viitattu 23.3.2019]).

Tarkemmin asiaa pohdittaessa alkoivat nousta epäilyt, oliko USPT sittenkin jopa liian pieni. Pieni koko hankaloittaa käsittelyä esimerkiksi asennusvaiheessa, ja tunnistete saattaisikin helposti vaikkapa pudota tai hävitä. Lisäksi tunnisteen koko on lähes suoraan verrannollinen sen teholliseen lukuetaisyyteen. Mitä pienempi on tunnistete, sitä pienempi on sen antenni ja näin ollen sen kyky vastaanottaa lukijan lähettämiä radioaaltoja ja heijastaa niitä takaisin. USPT:n lukuetaisyys saattaisi siis olla jo liian rajallinen. Lukuetaisyyteen vaikuttaa moni muukin asia, mutta antennin koko on yksi suuri yksittäinen tekijä. USPT:n lisäksi siis kartoitettiin muutamia muitakin pienikokoisia kovia tunnisteteita.

Pienikokoisten tunnisteteiden heikkoutena on myös niiden rajallinen suojaus mekaanisista rasituksesta vastaan, sillä kotelointi ei ole yleensä erityisen vahva. Tämä ei kuitenkaan muodostu merkittäväksi ongelmaksi, sillä vaikka rällisissä olosuhteet ovat monesti epäsuotuisia, yleensä jokaisesta osasta ainakin jokin osuus on suojassa. Tunnisteen sijoittelussa on siis vain otettava huomioon, että se asetetaan osassa sellaiseen paikkaan, jossa se ei kohtaa iskuja tai muuta jatkuvaa rasitusta.

Joidenkin auton osien kohdalla voi ongelmaksi muodostua myös lämpötila, ja kaikkiin osiin ei sen vuoksi voida tunnistetta asentaa. Näitä osia ei kuitenkaan ole kovinkaan monta, eikä suurin osa auton osista lämpene tai kohtaa lämpöä niin paljon, että osassa olevan tunnisteen vioittuminen olisi vaarana. RFID-tunnisteiden lämmönkesto on myös yleisesti ottaen melko hyvä. Tunnisteille on ominaista, että ne menettävät lämmetessään jossain vaiheessa luettavuutensa, mutta alkavat toimia normaalisti jäähtyessään. Esimerkiksi Omni-ID:n Fit 400-mallin, joka on hyvin potentiaalinen yleiskäyttöinen kova tunniste, ilmoitettu toimintalämpötila on -20-80 °C ja maksimikesto -20-235 °C.



Kuva 7. TROI Technologies CC-71 UHF RFID tunniste (AbleID, [Viitattu 23.3.2019]).

Johtosarjoille sopivalta tunnisteealta vaikutti lankamallinen, ulkomuodoltaan vastusta muistuttava, tunniste. Tässä oli keskellä tunniste, josta lähti molemmille puolille antennilanka. Tämän mallinen tunniste olisi helppo asettaa johtosarjaan kutistesukan alle. Kuitenkaan edes tämän malliset tunnistheet eivät mahtuisi pienikokoisimpiin johtosarjoihin. Halkaisijaltaan pienin käytettävä kutistesukka on 3/32 tuumaa, eli noin 2,4 millimetriä kun taas esimerkiksi TROI Technologiesin CC-71 (kuva 7.) on keskeltä halkaisijaltaan neljä millimetriä, jolloin tunniste ei edes itsessään mahtuisi kutistesukan sisään. Lisäksi sukan sisässä kulkee aina käytännössä vähintään kaksi johtoa. Suurimmassa osassa johtosarjoja kuitenkin olisi tilaa kyseisen tyyppiselle tunnisteele. Jos tunniste ei mahdu sukan sisään, se voitaisiin asettaa kumisen suojaavan muotokappaleen alle. Kuvassa 8. on esitetty johtosarjan liitin kutistettavalla muotokappaleella suojattuna. Muotokappaleen alle on asetettu pienikokoinen kova tunniste, ja kuten kuvasta voidaan nähdä, tunniste voidaan asentaa johtosarjaan

tällä tavoin täysin huomaamattomasti. Tunniste voitaisiin tarvittaessa asentaa myös sukan ulkopuolelle esimerkiksi vahvalla teipillä tai SCL:llä. SCL on jäykkää kutistesukkaa, joka antaa suojaa iskuilta ja rasitukselta ja estää vääntyilemistä. Lisäksi kyseisen sukan sisempi kerros sulaa kuumentaessa, joten se täyttää epätasaisuuksia ja tyhjiä tiloja sukan sisässä sekä luo roiskeen- ja kosteudenpitävän sauman.



Kuva 8. Autosport-liitin kutistettavalla muotokappaleella suojattuna.

Kun projekti eteni, alkoi vaikuttaa siltä, että yhden universaalin tunnisteiden käyttäminen olisi loppujen lopuksi liian suuri kompromissi monelta osin. Idea yhden universaalin tunnisteiden käyttämisessä oli siinä, että linjanveto siitä, mikä tunniste mihinkin osaan asennetaan, olisi hyvin selkeä. Tunnisteiden asentajan ei siis tarvitsisi miettiä, minkälainen tunniste kuhunkin käsillä olevaan osaan asennetaan ja mitä mahdollisia kiinnitystarpeita käytetään. Kovan tunnisteiden asentaminen vaikkapa liimalla olisi kuitenkin huomattavasti hankalampaa ja epäkäytännöllisempää esimerkiksi sellaiseen osaan, jossa on suuria laakeita pintoja, jos verrataan, miten helppoa tällaiseen osaan on vain liimata tarramallinen tunniste. Yleiseksi ajatukseksi muodostui siis käyttää kahta erilaista tunnistetta: yleismallista kovaa tunnistetta sekä tarramallista metallin päällä toimiva tunnistetta. Tarramallisia ei ole kannattavaa käyttää kahta erilaista, metallilla toimivaa sekä muilla pinnoilla toimivaa. Lähes kaikki osat, joihin tunniste on tarkoitus kiinnittää, joko ovat metallia tai sisältävät sitä. Metallipinnoilla toimimatonta tarratunnistetta kuluisi niin vähän, että sitä ei olisi kannattavaa olla erikseen käytössä, sillä metallipinnalla toimiva tarratunniste toimii myös muilla pinnoilla, vaikka sen suorituskyky laskeekin. Kuvassa 9. on esitelty 30x15 millimetrin kokoinen metallipinnoilla toimiva label-tyyppinen tunniste sekä kaksi erikokoista kovaa tunnistetta. Kuvaan on sisällytetty myös mustekynä helpottamaan mittasuhteiden hahmottamista.



Kuva 9. Metallipinnoilla toimiva label sekä kaksi kovaa tagia.

Mitään tarkkoja tai lopullisia päätöksiä tunnisteiden malleista ei ole tehty tätä opinnäytetyötä valmiiksi saataessa. On myös mahdollista, että kaikkien tunnisteiden valintaa ei tehdä yrityksen sisällä itsenäisesti. Jossakin vaiheessa projektia tulee olla yhteydessä tärkeimpiin osien ja tavaroiden toimittajiin. On mahdollista, että joillakin toimittajilla ja valmistajilla on käytössä RFID-tekniikkaa, ja että he lisäävät jo joidenkin asiakkaiden osiin tunnisteita. Tällaisessa tapauksessa varmastikin käytettäisiin sitä tunnistetta, jonka osien valmistaja on havainnut hyväksi ja tarjoaa jo asiakkailleen.

### 5.1.2 Tunnisteiden luku

Kun tunnisteita oli saatu hankittua useita erilaisia, voitiin käynnistää käytännön koheet. Ensin tunnisteiden suorituskykyä testattiin normaaleissa huoneolosuhteissa. Tarkoituksena oli saada käsitys eri tunnisteiden lukuetaisyysistä sekä niiden mahdollisista säteilykuvioista.

Mitään tarkkaa testausmetodia ei määritetty, mutta testit suoritettiin kuitenkin kullekin tunnisteelle pääosin samalla tavoin. Tunnisteita testattiin eri pinnoilla, kuten muovilla, metallilla, hiilikuidulla ja kevlarilla. Nämä ovat kukin sellaisia materiaaleja, mitä ralliautossa on, ja siten ne valikoituivat testattaviksi alustoiksi.

Hyvin nopeasti tunnisteissa oli huomattavissa selkeä trendi: jos tunniste oli tehty toimimaan metallipinnoilla, sen suorituskyky ei-metallisilla pinnoilla oli melko vaatimaton metallipinnan vahvistaessa signaalia huomattavasti. Vastaavasti jos tunniste



on tehty toimimaan muilla kuin metallisilla pinnoilla, sen lukuetaisyys saattoi olla muuten todella hyvä, mutta kun tunniste asetettiin metallille, se ei toiminut ollenkaan tai todella huonosti. Lisäksi kävi ilmi, että tunnisteet käyttäytyvät hyvin samalla tavalla sekä metallilla että hiilikuidulla. Kevlarilla taas ei ollut vaikutusta lukuetaisyyteen esimerkiksi muoviin verrattuna.

Yleensä valmistajat ilmoittavat tunnisteille niiden säteilykuviot, etenkin metallipinnoille tarkoitettujen tunnisteiden kanssa. Tunnisteen orientaatiolla on myös merkitystä, ja tunniste suositellaankin asennettavaksi yleensä johonkin tiettyyn asentoon pinnan suhteen. Metallipinta vahvistaa tunnisteen lukijalle lähettämää signaalia, ja tietyllä tapaa tunniste asennettaessa tämä maksimoituu. Sopiva asennustapa ja -asento on kuitenkin tunnistekohtainen, eikä mitään yleistystä voida varsinaisesti tehdä. Tämä orientaatio pinnan suhteen on kuitenkin hyvin merkittävä tekijä. Jotkin tunnisteet käyttäytyivät siten, että optimaalisessa asennossa lukuetaisyys on todella hyvä, mutta kun tunnisteen asetti johonkin tiettyyn asentoon pinnalle, sitä ei pystynyt lukemaan ollenkaan. Näin ollen onkin tärkeää testata aina tunnisteen ominaisuuksia, ennen sen käyttöönottoa ja asennustavan määrittämistä. Tunnistetta ei kannata vain laittaa jotenkin paikalleen. Tällöin ei päästä hyödyntämään tunnisteen maksimaalista lukuetaisyyttä, vaan saatetaan päinvastoin haavoittaa sitä oleellisesti. Kova tunniste toimi lähes poikkeuksetta parhaiten siten, että sen asetti tunnisteen selkäpuoli vasten asennuspintaa. Tällöin tunnisteen säteilykuvio oli melko ympärisäteilevä, ja lukija havaitsi tunnisteen tehokkaasti eri kulmista, eikä lähestymiskulmalla ollut suurta vaikutusta lukuetaisyyteen. Jos tunnisteen asetti ikään kuin kyljelleen, tunnisteen toiminta saattoi lakata täysin.

Labelit, eli liimattavat tarrat, asennetaan luonnollisesti liimaamalla se pintaan asennettavan osan muodon mukaisesti. Perinteisellä label-tunnisteella, eli muille kuin metallipinnoille tarkoitettulla, oli selkeästi paras suorituskyky testatuista tunnisteista, ja lukuetaisyydet olivat melko pitkiä. Metallipinnoille tarkoitettulla labelilla lukuetaisyys oli huomattavasti rajallisempi. Metallipinnalla ollessaan tällaisen on-metal labelin lukuetaisyys on varsin hyvä, mutta sen ollessa muulla kuin metallipinnalla lukuetaisyys laskee huomattavasti.

Testeissä kävi ilmi, että tunnisteen suorituskyky on erittäin riippuvainen ympäristöstä. Tunnisteen lukuetaisyys siis saattaa vaihdella hyvin paljon riippuen siitä, mitä sen ympärillä on. Signaali voi vahvistua sekä heijastua eri pinnoista, mikä taas vaikuttaa siihen, miten kaukaa tai mistä kulmasta signaalin voi havaita. Yksi selkeä esimerkki tuli esiin mitattaessa pienikokoista kovaa tunnistetta: silmämääräisesti tunnisteen lukuetaisyys oli aluksi noin viisi senttiä. Kun tätä lukuetaisyyttä, eli etäisyyttä tunnistesta lukijan antenniin, yritettiin mitata, lukuetaisyys kasvoi yhtäkkiä huomattavasti. Tunnisteen lähettämä signaali heijastui metallisesta mittanauhasta ja vahvistui niin paljon, että lukuetaisyys kaksinkertaistui.

Aiemmin mainituista syistä johtuen on erittäin vaikea määrittää yksittäiselle tunnistelle sen maksimilukuetaisyyttä. Toki sen ihanteellisen lukuetaisyyden voi selvittää, mutta tunnistetta valittaessa tulee pitää mielessä, että lukuetaisyydet voivat todellisessa käytössä olla huomattavasti pienempiä kuin tunnisteen teknisissä tiedoissa ilmoitetut lukuetaisyydet. Tunnisteen lopullisen lukuetaisyyden näkee vasta, kun sen asentaa paikalleen ja kokeilee. Toki monissa ympäristöissä asia on paljon yksioikoisempaa, ja on mahdollista päästä myös ihanteellisiin lukuetaisyyksiin. Yksi laajimpia käyttökohteita RFID:lle tänä päivänä ovat logistiikka ja varastokäyttö. Tällaisessa ympäristössä label-mallinen tarra on helppo liimata johonkin laatikkoon, jolloin lukija havaitsee sen esimerkiksi oviaukosta läpi kuljettaessa. Tässä projektissa haasteen taas tuo se, että tunnistetta asetetaan niin moniin erilaisiin osiin. Vaihtelua on paljon niin muodossa, koossa kuin materiaalissakin. Näin ollen on vaikea sanoa, miten joku tunniste toimii, sillä suorituskyky voi olla aivan erilainen riippuen osasta, johon tunniste on kiinnitetty.

Tunnisteen peittämisellä ei ole suurta vaikutusta tunnisteen toimintaan, riippuen kuitenkin materiaalista, jolla tunniste peitetään. Erilaiset teipit tai liimamassat eivät vaikuttaneet oleellisesti tunnisteen toimintaan tai lukuetaisyyteen.

## 5.2 Viivakoodit

Projektissa päätettiin käyttää perinteisen viivakoodin sijaan QR-koodeja johtuen QR-koodien kompaktista koosta sekä toimintavarmuudesta verrattuna perinteiseen viivakoodiin. Tässä projektissa viivakoodeista puhuttaessa viitataan QR-koodeihin.

QR-koodien luvussa ei sinänsä ole mitään erityistä, eivätkä ne näin ollen vaatineet laajamittaista testausta. QR-koodeista kuitenkin testattiin eräitä ominaisuuksia peilaten niiden käyttötapaan sekä -olosuhteisiin.

QR-malliset viivakoodit kestävät vaurioitumista huomattavan paljon enemmän kuin perinteiset viivakoodit. QR-koodit sisältävät ominaisuutena virheenkorjauksen, joka sallii viivakoodin osittaista vaurioitumista. Virheenkorjausta on eri tasoista, ja näin ollen viivakoodin sallitun koodin prosentuaalisen vaurioitumisen määrä vaihtelee. Tiedossa ei ole tarkkaa tässä projektissa käytettyjen QR-koodien virheenkorjauksen tasoa.

QR-koodien kulutuskestävyyttä testattiin simuloimalla sen todellista käyttöolosuhdetta varastointipakkauksessa tahraamalla sitä tussilla sekä leikkaamalla siitä osia pois saksilla.

Kulutuskestävyyttä testattiin kiinnittämällä suljettavaan muovitaskuun QR-koodi, jonka jälkeen muovitaskua muun muassa rytisteltiin ja hierottiin sekä käsiteltiin muutoin aggressiivisin tavoin. Muovitaskuun myös lisättiin sisälle osia, jonka jälkeen jatkettiin edeltävän kuvauksen mukaista toimintaa. Tällä tavoin oli tarkoituksena simuloida tilannetta, jossa varaosa on pakattu suljettavaan muovitaskuun, ja se varastoidaan laatikkoon, joka sisältää useita samanlaisia pakkauksia. Tällaisessa tilanteessa voidaan olettaa pakkausten kuluvan ja näin ollen myös QR-koodin vaurioituvan jossain määrin.

Kulutustestissä ei havaittu QR-koodin menettävän toimintakykyään olennaisesti. Koodi saattoi kuitenkin menettää luettavuutensa, jos se likaantui liikaa. Testissä esimerkiksi kävi näin koodissa olevan musteen leviämisen seurauksena muovitasku taitettaessa ja puolikkaita yhteen hieroessa. Tällöin viivakoodinlukija ei kykene enää erottamaan koodissa olevia tummia ja vaaleita alueita toisistaan. Tässä tilanteessa

kuitenkin riitti QR-koodin puhdistaminen esimerkiksi jarrujen puhdistusaineella ja paperilla, jonka jälkeen koodi oli taas luettavissa normaalisti. Kuvassa 10. on esitetty testauskohde, eli QR-koodilla varustettu muovitasku.



Kuva 10. QR-koodi kiinnitettynä suljettavaan muovitaskuun.

Vaurioitumista testattiin leikkaamalla testattavasta QR-koodista osia pois. QR-koodi sallii esimerkiksi yhden nurkassa sijaitsevan kohdistusneliön puuttumisen koodista täysin. Lukija pystyy hahmottamaan QR-koodin orientaation vielä kahden jäljelle jäävän kohdistusneliön avulla. Myös itse koodista voitiin leikata osa pois ilman, että se menetti toimivuuttaan. Tahriintumisen kestävyyttä testattiin piirtämällä pisteitä sekä viivoja mustalla tussilla satunnaisesti QR-koodin sekaan. QR-koodi sietä myös tällaisia asiaankuulumattomia merkintöjä tietyssä määrin.



Kuva 11. QR-koodi kulma leikattuna, edelleen toimivana.

Testien perusteella QR-mallisen viivakoodin voidaan olettaa säilyttävän toimivuutensa myös sen äärimmäisissä käyttöolosuhteissa. Se kesti niin kulutuksen tuomaa epämuodostumista ja tahriintumista kuin osittaista leikkautumistakin. Tällainen leikkautunut QR-koodi on esitetty kuvassa 11. Normaalissa varastokäytössä, jossa QR-koodit ovat kiinnitettyinä varastohyllyihin, ei niihin oleteta kohdistuvan minkäänlaisia häirtatekijöitä. Kisa- ja testivaraosissa voi esiintyä pakkauksissa kulumista, mutta sen ei voida olettaa olevan pahemmanlaatuista kuin näissä testeissä simuloitu koodin kuluminen.

### 5.3 Pilotti

Mitään yksittäistä varsinaista pilottia ei järjestetty, vaan keskityttiin testaamaan RFID-tunnisteita niiden todellisissa käyttöolosuhteissa yleisellä tasolla. Pilotissa ei testattu erikseen viivakoodeja, vaan pääpaino oli RFID-tekniikan testaamisessa. Tämä johtui siitä, että viivakoodit ovat teknologiana tutumpi ja yksinkertaisempi, ja sen käyttöolosuhteet ovat melko vakioita. RFID-tekniikka taas oli vieraampi ala, jossa oli paljon tuntemattomia tekijöitä, ja tuloksia oli vaikea arvioida etukäteen.

### 5.3.1 Järjestely

Eri tunnisteita kiinnitettiin testiautoon erilaisiin osiin mahdollisimman laajalla skaalalla. Tunnisteita siis asetettiin alustan osiin, sisätiloihin sekä moottoritilan osiin. Tarkoituksena oli saada käyttökokemuksia mahdollisimman monista erilaisista olosuhteista. Koviin tunnisteisiin asetettiin pohjaan kaksipuolista teippiä, jonka avulla tunniste kiinnitettiin osaan. Lisäksi tunnisteeseen päälle asetettiin vahvaa teippiä suojaamaan sitä mekaaniselta rasitukselta sekä varmistamaan tunnisteeseen osassa kiinnitys pysyminen. Label-malliset tarrat liimattiin osaan omalla liimapinnallaan ja suojattiin teipillä.

Jokaiseen tunnisteeseen kirjoitettiin sen EPC-muistiin juokseva sarjanumero, jonka avulla tunniste saatiin yksilöityä. Tunnisteisiin on tehtaalla ohjelmoitu satunnainen EPC-koodi, joka on niin pitkä kirjaimien ja numeroiden sarja, että sen avulla osien luennan seuraaminen olisi ollut hankalaa. EPC-muistiin voi kuitenkin kirjoittaa vain heksadesimaaleja, minkä takia muistiin ei voinut kirjoittaa suoraan auton osan, johon tunniste kiinnitettiin, osanumeroa sekä sarjanumeroa. Näin ollen tunnisteeseen EPC-muistiin kirjoitettiin aiemmin mainittu juokseva sarjanumero, jotka sitten taulukoitiin ja sitä kautta yhdistettiin tiettyyn osaan. Tunnisteiden käyttäjämuistiin on mahdollista kirjoittaa vapaamuotoista tekstiä, mutta lukijassa käytettävissä ollut ohjelmisto salli vain EPC-muistin uudelleen kirjoittamisen.

### 5.3.2 Kulku

Tunnisteita testattiin kenttäolosuhteissa Suomessa kahdessa eri osassa. Ensimmäisessä osassa ajettiin kolmena päivänä ja toisessa osassa neljänä päivänä. Osa tunnisteista oli kiinni autossa molempien testiosioden ajan, jotkut vain toisen osion ja jotkut taas vain jotkin päivät. Tämä riippui tunnisteiden mallista, sekä siitä, mihin osaan se oli kiinnitetty. Esimerkiksi joitakin kovia tunnisteita siirrettiin osasta toiseen, jos osa jouduttiin vaihtamaan autossa. Label-mallista tunnistetta taas on haastavampi irrottaa osasta ja kiinnittää uuteen, etenkin siten, että se säilyy vahingoittumana.

Ensimmäisenä päivänä testin suorittaja oli paikalla aktiivisesti testaamassa tunnisteita ja tarkkailemassa tilannetta. Tämä oli tärkeää ensimmäisiä testauksia tehtäessä, sillä jos tunnistheet olisi vain kiinnitetty osiin, luettu ne testin jälkeen, ja jokin tunnistee olisi lopettanut toimintansa, ei olisi ollut mitään tietoa, missä vaiheessa se olisi lopettanut toimintansa. Aktiivinen seuranta mahdollisti välittömän reagoinnin tunnisteen rikkoutumiseen.

Seurantaa suoritettiin siten, että kaikki tunnistheet käytiin läpi ja yritettiin lukea jokaisen ajosuorituksen jälkeen suoritettavan huollon yhteydessä. Testeissä käytettävien reittien pituus on yleensä noin seitsemän kilometriä. Tämä ajetaan päästä päähän muutamaan, esimerkiksi kolmeen kertaan, minkä jälkeen auto palaa huoltoon. Näin ollen kilometrejä kertyy joitakin kymmeniä, mikä on melko tavallinen rallissa ajettavan erikoiskokeen pituus. Luentaan käytettiin Nordic ID:n HH53 ACD -mallin korkeatehoista käsikäyttöistä RFID-lukijaa.

Huollon yhteydessä siis luettiin kaikki tunnistheet, joihin oli pääsy. Esimerkiksi laturiin sekä taka-akselin tasauspyörästöön oli kiinnitetty tunnistheet, mutta pohjajanssarit estivät pääsyn näihin tunnisteesiin. Jotkin tunnistheet pääsi lukemaan siis vain satunnaisesti, kun huollossa poistettiin nämä edellämainitut pohjajanssarit.

Ensimmäisten lukuyritysten jälkeen kävi selväksi, että auton kannattaa antaa jäähtyä jonkin aikaa sen huoltoon palaamisen jälkeen. Jotkut osat, ja sitä kautta niissä olevat tunnistheet, lämpenivät ajon aikana siinä määrin, että ne menettivät luettavuutensa. Osien tuli antaa jäähtyä, jolloin tunnistheet alkoivat taas toimimaan normaalisti.

Ensimmäisen lukukerran jälkeen ilmeni erikoinen tilanne. Lukija löysi useita tunnisteita, joiden EPC-muisti sisälsi tehdasasetusta muistuttavan koodin. Tämä aiheutti sekaannusta, sillä lukijatestien tekijä luuli ensin, että tunnisteeseen kirjoitettu uusi koodi on jostain syystä pyyhkiytynyt pois muistista ja tunnistee on palannut ikään kuin tehdasasetuksiin. Jonkin ajan kuluttua kuitenkin havaittiin, että nämä satunnaiset EPC-koodit tulevat autossa käytettävistä renkaista. Paikalla oli Michelinin, WRC:ssä käytettävien renkaiden valmistajan, edustaja, jolta varmistettiin renkaissa käytettävän RFID-tunnisteita.

Muutamien lukukertojen jälkeen testaaminen alkoi rutinoitua ja vakiintua. Kukin tunniste käytiin systemaattisesti läpi, ja lukijaa liikuteltiin tunnisteiden läheisyydessä useissa eri asennoissa sekä mahdollisimman lähellä. Osa tunnisteista, jotka normaalihuollossa olivat tavoittamattomissa, luettiin aina mahdollisuuden tullen. Lukijaan tallentui luetut tunnisteet, ja tiedot löydetyistä tunnisteista taulukoitiin jokaisen lukukerran jälkeen.

Testin ensimmäisen osion muina kuin ensimmäisenä päivänä ei suoritettu aktiivista luentaa. Tunnisteet luettiin seuraavan kerran testien jälkeen Puuppolassa. Vain yksi tunniste oli loppujen testien jälkeen lopettanut toimintansa. Kyseessä oli label-mallinen tunniste. Tunnisteessa oli pieni fyysinen vaurio, joka oli melko keskellä tunnistetta. Todennäköisesti vaurio osui kriittiseen osaan tunnisteessa, ja vioitti esimerkiksi mikropiiriä ja näin ollen aiheutti tunnisteiden täydellisen lamaantumisen. Muut autossa olleet tunnisteet toimivat edelleen kolmen ajatun testipäivän jälkeen.

Toisessa osiossa suoritettiin aktiivista seuranta kahtena päivänä. Osa tunnisteista oli samoja, jotka oli asennettu ennen testien ensimmäistä osiota, kun taas osa oli uusia tunnisteita. Itse testaustapa pysyi samankaltaisena, kuin se oli aiemmin ollut. Näiden seurantapäivien aikana ei havaittu tunnisteiden rikkoontumista.

### **5.3.3 Tulokset**

Projektissa esiintyvä käyttötarkoitus RFID-tunnisteille on melko poikkeuksellinen. Yleensä tunnisteita käytettäessä osat, johon tunnisteet kiinnitetään, ovat samanlaisia tai samankaltaisia, ja olosuhteet, vaikkakin voivat olla haastavia, ovat vakioituja. Tässä projektissa taas tunnisteita kiinnitetään hyvin erilaisiin osiin, jonka lisäksi olosuhteet vaihtelevat rajusti. Tästä syystä oli vaikea arvioida tai ennustaa, kuinka tunnisteet toimivat ja kestävät.

Tulokset olivat kokonaisuudessaan hyvin positiivisia. Tunnisteet vaikuttivat kestävästi erilaisissa olosuhteissa hyvin. Vaikka tunnisteiden paikat olivatkin valittu siten, että ne ovat niin hyvin suojassa kuin mahdollista, suurimpaan osaan niistä kohdistui aina vähintäänkin kovia kiihtyvyyksiä, osaan myös korkeita lämpötiloja. Tunnisteet eivät



kärsineet juurikaan fyysisiä vaurioita eivätkä myöskään lakanneet muutoin toimimasta.

Testien perusteella myös tunnisteen teipillä kiinnittäminen ja suojaaminen oli pääosin riittävä ja toimiva ratkaisu. Joissakin tapauksissa teippi oli päässyt osittain irtamaan, ja tätä täytyy seurata tarkemmin tulevissa testauksissa ja miettiä, onko jokin muu kiinnitystapa tarpeellinen. Teipin lämmittäminen asennuksen jälkeen kuumailemapuhaltimella parantaa teipin kiinnittymistä huomattavasti, ja teipin irtaamista tapahtuikin lähinnä sellasille yksilöille, joita ei syystä tai toisesta ollut lämmitetty.

Pilotin lopputulemana voidaan sanoa, että tunnistesten kestävyys ja toimiminen ei tule olemaan ongelma RFID-tekniikan käyttöön otossa ralliautojen osien tunnistuksessa. Toki pidempiaikainen seuranta puuttui tästä pilotista, mutta jos tunniste ei kärsi fyysisistä vaurioita, on melko epätodennäköistä, että tunnisteen elektroniikka vaurioituisi.

## 6 KÄYTTÖÖNOTON SUOSITUKSET

### 6.1 Design

Projektissa otettiin heti alussa tähtäimeksi seuraavan sukupolven WRC-auto. Näin ollen myös käytettävät tunnisteet haluttiin saada päätettyä mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, jos nämä pitäisi ottaa huomioon uusien osien suunnittelussa. Tällöin tulisi olla tiedossa tunnisteiden ulkomitat sekä muoto, jotta suunnittelijat tietäisivät tehdä näille tilavarauksia tai muutoin ottaa huomioon suunnitteluprosessissa. Yksi alkuperäisistä ajatuksista oli luoda osiin oma paikka tunnisteelle, esimerkiksi syvennys, johon tunniste asetettaisiin. Syvennys täytettäisiin tämän jälkeen jollakin massalla tai liimalla, jolloin tunniste saataisiin piilotettua osaan ja näin ollen asennettua siististi. Näin tunniste saataisiin myös suojattua tehokkaasti niin iskuja ja muuta mekaanista rasitusta kuin sääolosuhteitakin vastaan.

Tästä edellämainitusta menetelmästä kuitenkin luovuttiin, sillä suunnittelussa ei haluta luoda pintaan niin kutsuttuja epäjatkuvuuskohtia. Nämä voisivat vaarantaa rakenteellisen kestävyys ja heikentää osaa. Lisäksi tällaiset poikkeumat voisivat vaikeuttaa osan valmistettavuutta.

Eräs toinen idea oli asettaa tunniste osan sisälle. Esimerkiksi eräistä osista jyrsitään materiaalia pois painon säästämiseksi, jonka jälkeen se suljetaan peitelevyllä ja osa jää eräistä kohdista ontoksi. Tunnisteiden olisi voinut tällaisissa tapauksissa siis sulkea osan sisälle. Ongelmaksi kuitenkin tulee se, että osat koostuvat pääosin metallista, eikä tunniste voi näin ollen toimia osan sisässä, sillä lukijan lähettämä signaali ei läpäise metallia, vaan heijastuu pois.

Tunnisteiden asennus tullaan siis hoitamaan pääosin pinta-asennuksina, jolloin tunniste asetetaan suoraan sellaisenaan osan pinnalle kiinnittäen se teipillä tai liimalla. Näin ollen automaattisen tunnistuksen tekniikkaa ei tarvitse tällä hetkellä ottaa huomioon osien suunnittelussa.

On myös mahdollista, että kaikkia auton osia, jotka ovat eliniän seurannan piirissä ei pystytä merkitsemään RFID-tunnisteilla. Tällaisia ovat esimerkiksi osat, jotka kuumenevat huomattavasti, kuten pakoputkisto ja jarrusatulat. Tunnisteet ja niiden kiinnitysmateriaalit eivät todennäköisesti kestäisi lämpötiloja, jotka nämä osat saavuttavat. Aihe vaatii kuitenkin vielä perusteellista testausta, vaikka jo etukäteen voidaan pitää melko varmana, ettei joitakin osia voida lämmön takia tunnistaa. Myös jotkin osat ovat niin pienikokoisia, että niihin voi olla äärimmäisen vaikeata asettaa sellaista tunnistetta, joka kestää metallisia materiaaleja sekä jolla on tarpeeksi korkea suorituskky, jotta se voidaan lukea myös pienitehoisilla lukijoilla. Edellämainitut aiheet ja haasteet vaativat vielä lisäselvitystä ja -testausta sekä laajempia käyttökokemuksia, jotta voidaan tehdä lopullisia johtopäätöksiä ja ratkaisuja.

## **6.2 Käytännön toiminta ja prosessit**

Automaattisen tunnistuksen järjestelmän käyttöönotto muuttaa toimintatapoja muutamissa työvaiheissa. Näitä ovat autojen kasaus sekä huolto. Mekaanikko tai muu varaosia hallinnoiva henkilö siis nykyisen manuaalisen sarjanumeron tarkastamisen ja ylöskirjaamisen metodin sijasta lukee osan lukijalla ja määrittää käyttöliittymästä auton, johon osa asennetaan. Lisäksi ottojen tekeminen varastosta muuttuu lukijalla tehtäväksi. Tämä helpottaa ja nopeuttaa varastomiesten toimintaa, ja lisäksi myös muut työntekijät voivat tehdä varaston ottoja lukijalla nykyisen paperille kirjauksen sijasta.

Nämä uudet toimintatavat tulee testata huolellisesti ja varmistua, että kaikki on mahdollisimman selkeätä ja helppokäyttöistä sekä että kaikki toimii, kun järjestelmä luovutetaan yleiseen käyttöön. Kaikki asianomaiset henkilöt tulee mahdollisuuksien mukaan kouluttaa ja perehdyttää järjestelmään ja sen käyttöön. Lisäksi tulee luoda työohjeet, jotka olisivat saatavilla työpisteiden välittömässä läheisyydessä. Näin ol-  
len ongelma- sekä epävarmuustilanteessa voisi tarkistaa työohjeesta jonkin asian, eikä olisi välttämätöntä ottaa yhteyttä tukihenkilöön.

Lukijan käyttöliittymä pyritään luomaan sellaiseksi, että se olisi mahdollisimman helppokäyttöinen ja nopeasti omaksuttava. Tällä tavoin pyritään vähentämään mahdollista muutosvastarintaa sekä varmistamaan, että lukijaa käytetään aktiivisesti. Muutosvastarintaa ei sinänsä ole odotettavissa, sillä järjestelmä helpottaa joidenkin työntekijöiden toimintaa huomattavasti, ja järjestelmää onkin toivottu jo pidemmän aikaa. Nykytilanteessa saattaa jäädä sarjanumeroita merkkäämättä ylös, kun se nähdään liian vaivalloiseksi auton kasaamisen yhteydessä. Tämän vuoksi käytön tulee olla mahdollisimman suoraviivaista, jotta lukijan kanssa ei käy samoin, eli se jää käyttämättä, koska se nähdään liian vaivalloiseksi. Lukijan helppo ja nopea käyttö kannustaa siis järjestelmän hyödyntämiseen.

## 7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyössä onnistuttiin yleisellä tasolla ja sille asetettuihin tavoitteisiin päästiin. Työssä oli tarkoitus tutustua erilaisiin automaattisen tunnistuksen järjestelmiin ja tutkia, voitaisiinko niitä käyttää hyväksi yrityksen toiminnassa. Eri tunnistamistapojen tutkimisen ja niihin perehtymisen jälkeen löydettiin keinot hyödyntää näitä yrityksen toiminnan tehostamisessa.

Erilaiset automaattisen tunnistuksen teknologiat olivat työn tekijälle sekä myös asiakasyritykselle pääosin vieraita. Vaikkakin perustason tietämys esimerkiksi viivakoodista, jota voidaan pitää pitkäaikaisimpana ja perinteisimpänä automaattisen tunnistuksen järjestelmänä, oli olemassa, niin RFID-teknologia, jossa pääpaino oli alusta asti, oli kaikille osapuolille tuntematon osa-alue. Toki myös viivakooditekniologian kanssa piti aloittaa perusteista ja siitä opittiin paljon, mutta etenkin RFID-teknologian kanssa jouduttiin tekemään paljon töitä, että saatiin perusteellinen ymmärrys niin sen tarjoamista eduista kuin haasteista ja rajoitteistakin.

Työ aloitettaessa pidettiin täysin mahdollisena sitä lopputulosta, että teknologiaselvityksen lopputulemana todetaan, että tutkittavia tekniikoita ei ole joko mahdollista hyödyntää tai että ne eivät tuo tarpeeksi lisäarvoa vaadittaviin muutoksiin ja tehtävään työhön nähden. Selvityksen edetessä kävi kuitenkin selväksi, että yrityksessä on mahdollista hyödyntää näitä tutkittuja teknologioita.

Opinnäytetyölle oltiin määritetty alussa eräitä mittareita, joiden avulla opinnäytetyön onnistumista voidaan arvioida ja mitata. Näitä olivat onnistuneen teknologiaselvityksen suorittaminen, testauksen ja pilotoinnin suorittaminen sekä jonkin tutkitun teknologian käyttöönotto asiakasyrityksessä. Näihin mittareihin peilaten opinnäytetyön voidaan pitää onnistuneen erinomaisesti, sillä lopputuloksena saatiin suoritettua selvitystä ja tutkimusta eri tunnistusteknologioihin sekä suoritettua näille testausta sekä pilotointia. Lisäksi käynnistettiin yhteistyö paikallisen yrityksen, Aksulit Oyn, kanssa, joka toimii RFID-tekniikan alalla. Aksulit tuottaa Tommi Mäkinen Racingille räätälöidyn ohjelmiston lukijoille, jotta käyttöliittymät saadaan rakennettua käyttötarkoitukseen sopiviksi sekä lisäksi taustaohjelman, joka hallinnoi tietoa lukijoiden ja eri ohjelmien välillä. Opinnäytetyössä tehdyn työn pohjalta jatketaan projektia, jossa on

tarkoituksena ottaa käyttöön automaattisen tunnistuksen järjestelmät yrityksen päivittäisessä toiminnassa. QR-koodien avulla tullaan helpottamaan varastonhallinnan toimintaa ja RFID-tunnisteita on tarkoitus hyödyntää *lifing* osien seurannassa.

Opinnäytetyö oli hyvin mielenkiintoinen ja opettavainen. Työssä käsiteltiin teknologiaa, joka on nykypäivänä hyvin paljon yleistynyt. RFID-teknologiassa on paljon potentiaalia, ja sitä on mahdollista hyödyntää hyvin laajasti erilaisilla aloilla ja eri käyttötarkoituksissa. Opinnäytetyö opetti myös tekijäänsä paljon muun muassa tutkimusmenetelmistä, projektin hallinnasta, yritysysteistä sekä prosessien hallinnasta ja kehityksestä. Opinnäytetyötä voidaan siis pitää menestyksenä niin yrityksen kuin opinnäytetyön tekijänkin näkökulmasta.

## LÄHTEET

- AbleID. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. [Viitattu 23.3.2019]. Saatavana: [https://www.ableid.com/CC-71\\_UHF\\_RFID\\_Embeddable\\_RFID.html](https://www.ableid.com/CC-71_UHF_RFID_Embeddable_RFID.html)
- Alien Technology. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. [Viitattu 22.3.2019]. Saatavana: <https://www.alientechnology.com/products/readers/alr-f800-x/>
- Bar Code 1. Ei päiväystä. All about UPC barcode and EAN barcode. [Verkkosivu]. [Viitattu 29.3.2019]. Saatavana: <http://www.adams1.com/upccode.html>
- Denso Waves. QR Code development story. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. [Viitattu 27.3.2019]. Saatavana: <https://www.denso-wave.com/en/technology/vol1.html>
- Finkenzeller, K. 2003. RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification. Toinen painos. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.
- Gregersen, E. Ei päiväystä. QR Code. [Verkkoartikkeli]. Britannica Academic. [Viitattu 27.3.2019]. Saatavana: <https://academic.eb.com/levels/collegiate/article/QR-Code/574116>
- Hitachi Chemical. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. [Viitattu 23.3.2019]. Saatavana: <https://www.hitachi-chem.co.jp/english/products/ppcm/014.html>
- Miles, S., Sarma, S. & Williams, J. 2008. RFID Technology and Applications. Cambridge: University Press.
- Muller, M. 2003. Essentials of Inventory Management. [Verkkokirja]. [Viitattu 22.3.2019]. United States of America: AMACOM. Saatavana ProQuest Ebook Central –palvelusta. Vaatii käyttöoikeuden.
- Nordic ID. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. [Viitattu 22.3.2019]. Saatavana: <https://www.nordicid.com/device/nordic-id-hh53/>
- RFIDLab. 2019. RFID perusteet. RFIDLab Finland ry. RFID/NFC –tehokoulutus 29.1.2019. Vantaa.
- RFIDLab Finland Ry. Ei päiväystä. Mitä on RFID? [Verkkosivu]. [Viitattu 16.3.2018]. Saatavana: <http://www.rfidlab.fi/rfid-teknologia/mita-on-rfid/>
- Roberti, M. 16.1.2005. The History of RFID Technology. [Verkkolehtiartikkeli]. New York: RFID Journal. [Viitattu 7.3.2018]. Saatavana: <https://www.rfidjournal.com/articles/view?1338>

SFS-käsikirja 301-1. 2010. RFID. Osa 1: opas. Johdatus tekniikkaan. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS ry.

Seideman, T. Bar codes sweep the world. [Verkkolehtiartikkeli]. [Viitattu 22.3.2019]. Saatavana: [https://www.academia.edu/2484615/Barcodes\\_sweep\\_the\\_world](https://www.academia.edu/2484615/Barcodes_sweep_the_world)

Shepard, S. 2005. RFID Radio Frequency Identification. United States of America: The McGraw-Hill Companies, Inc.

Violino, B. 16.1.2005. The Basics of RFID Technology. [Verkkolehtiartikkeli]. New York: RFID Journal. [Viitattu 16.3.2018]. Saatavana: <https://www.rfidjournal.com/articles/view?1337/>